



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Departamento de Ingeniería Mecánica

Modelado y simulación de compresores

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: MECÁNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

Autor: Alberto Alfaro Gimeno

Tutor: Cristina Castejón Sisamón

ÍNDICE

1. MOTIVACIONES Y OBJETIVOS	6
1.1. ENSEÑANZA A DISTANCIA.....	7
1.1.1. EVOLUCIÓN DE LAS ENSEÑANZAS. EEES.....	7
1.1.2. EL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR	8
1.1.3. ENSEÑANZA A DISTANCIA.....	9
1.1.4. ENSEÑANZA MULTIMEDIA	11
1.1.5. ENSEÑANZA A TRAVÉS DE INTERNET (E-LEARNING).....	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. EL COMPRESOR: DEFINICIÓN Y TIPOS	14
2.1.1. ETAPAS DE COMPRESIÓN.....	14
2.1.2. REFRIGERACIÓN INTERMEDIA	15
2.1.3. TIPOS	16
2.1.4. DIFERENCIAS ENTRE COMPRESORES ALTERNATIVOS Y CENTRÍFUGOS	22
2.2. SOFTWARE UTILIZADO	23
2.2.1. SOLID EDGE	23
2.2.2. FEMAP.....	29
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	36
3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	36
3.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO INICIAL.....	37
3.2.1. INTRODUCCIÓN	37
3.2.2. PIEZAS Y SUBCONJUNTOS DEL MODELO	37
3.3. MODELADO DE LOS COMPRESORES EN SOLID EDGE	44
3.3.1. COMPRESOR DE PISTONES.....	44
3.3.2. COMPRESOR DE PALETAS.....	51
3.4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CON FEMAP	55



4. CONCLUSIONES.....	71
5. FUTUROS DESARROLLOS.....	72
6. BIBLIOGRAFIA.....	73
7. ANEXOS.....	74
7.1.INCIDENCIAS	74
7.2. PLANOS.....	75

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1.1.1. Mapa de los países participantes en el Proceso de Bolonia</i>	8
<i>Ilustración 2.1.1. Refrigeración intermedia de un compresor</i>	15
<i>Ilustración 2.1.2. Esquema de funcionamiento de un compresor de pistones</i>	16
<i>Ilustración 2.1.3. Compresor de paletas tipo Witting</i>	17
<i>Ilustración 2.1.4. Compresor de paletas</i>	18
<i>Ilustración 2.1.5. Compresor de pistón líquido</i>	19
<i>Ilustración 2.1.6. Compresor de lóbulos (roots)</i>	20
<i>Ilustración 2.1.7. Compresor de tornillos</i>	21
<i>Ilustración 2.2.1. Solid Edge</i>	23
<i>Ilustración 2.2.2. Steering Wheel</i>	24
<i>Ilustración 2.2.3. Barra de comandos</i>	26
<i>Ilustración 2.2.4. Entorno Pieza</i>	27
<i>Ilustración 2.2.5. PathFinder</i>	27
<i>Ilustración 2.2.6. Entorno conjunto</i>	28
<i>Ilustración 2.2.7. Femap</i>	29
<i>Ilustración 2.2.8. Esquema Femap</i>	30
<i>Ilustración 2.2.9. Boeing, FEMAP y la SpaceStation</i>	31
<i>Ilustración 2.2.10. Programas CAD soportados por FEMAP</i>	32
<i>Ilustración 2.2.11. Solver de Femap</i>	33
<i>Ilustración 2.2.12. Tipos de análisis soportados por FEMAP de algunos paquetes MEF del mercado</i>	34
<i>Ilustración 2.2.13. Configuraciones Femap</i>	34
<i>Ilustración 3.2.1. Comparación bloque real-bloque modelado. Vista general</i>	37
<i>Ilustración 3.2.2. Comparación bloque real-bloque modelado. Vista de la planta</i>	38
<i>Ilustración 3.2.3. Comparación cárter real-cárter modelado. Vista de la planta</i>	38
<i>Ilustración 3.2.4. Comparación cárter real-cárter modelado. Vista general</i>	39
<i>Ilustración 3.2.5. Comparación cigüeñal real-cigüeñal modelado</i>	39
<i>Ilustración 3.2.6. Comparación rodamiento real-rodamiento modelado</i>	40
<i>Ilustración 3.2.7. Comparación junta de culata real-junta de culata modelada</i>	40
<i>Ilustración 3.2.8. Comparación culata real-culata modelada. Vista de planta</i>	41
<i>Ilustración 3.2.9. Comparación culata real-culata modelada. Vista general</i>	41
<i>Ilustración 3.2.10. Comparación subconjunto válvula real-subconjunto válvula modelado</i>	42
<i>Ilustración 3.2.11. Comparación cierre válvulas real-cierre válvulas modelado. Vista delantera</i>	42

<i>Ilustración 3.2.12. Comparación cierre válvulas real-cierre válvulas modelado. Vista trasera</i>	43
<i>Ilustración 3.2.13. Comparación subconjunto pistón real-subconjunto pistón modelado</i>	43
<i>Ilustración 3.3.1. Bloque</i>	44
<i>Ilustración 3.3.2. Cáster</i>	45
<i>Ilustración 3.3.3. Cigüeñal</i>	45
<i>Ilustración 3.3.4. Rodamiento</i>	46
<i>Ilustración 3.3.5. Junta de culata</i>	46
<i>Ilustración 3.3.6. Culata</i>	47
<i>Ilustración 3.3.7. Subconjunto válvula</i>	47
<i>Ilustración 3.3.8. Cierre válvulas</i>	48
<i>Ilustración 3.3.9. Subconjunto pistón</i>	48
<i>Ilustración 3.3.10. Compresor de pistones (conjunto). Vista alzado</i>	49
<i>Ilustración 3.3.11. Compresor de pistones (conjunto). Vista lateral</i>	49
<i>Ilustración 3.3.12. Compresor de pistones (conjunto). Vista isométrica</i>	50
<i>Ilustración 3.3.13. Compresor de pistones (conjunto). Vista isométrica fotorrealista</i>	50
<i>Ilustración 3.3.14. Carcasa (estator)</i>	51
<i>Ilustración 3.3.15. Carcasa transparente (estator)</i>	52
<i>Ilustración 3.3.16. Eje (rotor)</i>	52
<i>Ilustración 3.3.17. Paletas</i>	53
<i>Ilustración 3.3.18. Compresor de paletas (conjunto). Vista lateral</i>	53
<i>Ilustración 3.3.19. Compresor de paletas (conjunto). Vista isométrica</i>	54
<i>Ilustración 3.3.20. Explosionado</i>	54
<i>Ilustración 3.4.1. Importar geometría</i>	56
<i>Ilustración 3.4.2. Ajustar escala</i>	57
<i>Ilustración 3.4.3. Definir materiales</i>	57
<i>Ilustración 3.4.4. Definir propiedades</i>	58
<i>Ilustración 3.4.5. Mallado tetraédrico</i>	59
<i>Ilustración 3.4.6. Opciones de mallado</i>	59
<i>Ilustración 3.4.7. Pieza mallada</i>	60
<i>Ilustración 3.4.8. Tipo de conexión automática</i>	61
<i>Ilustración 3.4.9. Opciones de conexión</i>	61
<i>Ilustración 3.4.10. Restricciones en la superficie</i>	62
<i>Ilustración 3.4.11. Opciones de restricción</i>	63
<i>Ilustración 3.4.12. Pieza con restricciones</i>	63
<i>Ilustración 3.4.13. Cargas en superficie</i>	64
<i>Ilustración 3.4.14. Opciones de carga</i>	64



<i>Ilustración 3.4.15. Pieza con cargas</i>	65
<i>Ilustración 3.4.16. Pieza con cargas ampliada</i>	65
<i>Ilustración 3.4.17. Análisis</i>	66
<i>Ilustración 3.4.18. Elección del tipo de análisis</i>	66
<i>Ilustración 3.4.19. Fin del análisis. Cargar resultados</i>	67
<i>Ilustración 3.4.20. Opciones para visualizar resultados</i>	67
<i>Ilustración 3.4.21. Opciones de visualización de resultados numéricos</i>	68
<i>Ilustración 3.4.22. Deformada de la pieza</i>	68
<i>Ilustración 3.4.23. Elección de deformada real</i>	69
<i>Ilustración 3.4.24. Deformada real</i>	69

1. MOTIVACIONES Y OBJETIVOS

El presente proyecto fin de carrera trata sobre el modelado y simulación de dos compresores neumáticos: de pistones y de paletas. El modelado del compresor de pistones se realizará por medio de un compresor real tras su desmontaje y toma de medidas. El compresor de paletas, sin embargo, será un modelo totalmente inventado ya que no disponemos de ningún compresor ni de planos para poder ayudarnos.

El software de diseño utilizado para el modelado de los compresores será **Solid Edge Synchronous Technologies**, con el que diseñaremos las piezas de los compresores a tamaño real, para luego ensamblarlas como un único conjunto y por último dotar a dicho conjunto del movimiento que desarrolla en la realidad. Para ello respetaremos todos los elementos determinantes en el funcionamiento, haciendo las simplificaciones que creamos oportunas siempre que no influyan en el correcto funcionamiento de los compresores.

Para simular el funcionamiento de los compresores utilizaremos **Femap V10**. Usaremos dicho software ya que de este modo no tendremos problemas a la hora de importar las piezas directamente desde **Solid Edge Synchronous Technologies**.

El otro objetivo de este proyecto está más enfocado al campo de la enseñanza ya que la posibilidad de poder diseñar estos compresores por ordenador es una ventaja importante a la hora de realizar una demostración, por ejemplo, de cómo funciona un compresor por dentro sin necesidad de tener uno real, o hacer pruebas de qué materiales son los más apropiados para su fabricación, cuál es el máximo rendimiento que pueden dar...

1.1. ENSEÑANZA A DISTANCIA

1.1.1. EVOLUCIÓN DE LAS ENSEÑANZAS. EEES

Los métodos de enseñanza van parejos al grado de avance tecnológico del momento. Estos métodos se modifican en función de los medios disponibles tanto para el profesorado como para los alumnos.

En la antigüedad, la lección magistral era la única técnica disponible. Tiene su origen en las escuelas catedralicias y monacales, donde la técnica de la “lectio” consistía en una lectura-comentario sobre un texto elegido como base de un curso.

El invento de la imprenta en el siglo XIV permitió la rápida difusión de las ideas, de opiniones, de teorías y la posibilidad de publicaciones de gran número de libros, con lo que la comunicación del conocimiento a través del contacto personal directo entre el profesor y el estudiante, deja de ser el principal medio de comunicación para darle paso a la difusión a gran escala del conocimiento a través de los libros. Con las publicaciones de los libros se produjo la alfabetización de la población, es decir, su enseñanza a distancia ya que anteriormente los libros sólo estaban al alcance de unos pocos puesto que eran copiados a mano. Otros inventos posteriores como la fotocopidora o impresora nos permiten disponer de libros de texto de cualquier materia para su aprendizaje.

En los últimos tiempos, la comercialización de los ordenadores y el uso extensivo de Internet, han revolucionado los métodos de enseñanza.

Desde el comienzo de la enseñanza, cada país ha ido desarrollando y aplicando sus propios métodos de manera indistinta a los otros países. Con la formación de la Unión Europea (anteriormente Comunidad Económica Europea), se busca unificar estos métodos para permitir la movilidad de alumnos por la Comunidad.

1.1.2. EL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

El 25 de mayo de 1998, los Ministros de Educación de Francia, Alemania, Italia y Reino Unido firmaron en la Sorbona una Declaración instando al desarrollo de un Espacio Europeo de Educación Superior. Ya durante este encuentro, se previó la posibilidad de una reunión de seguimiento en 1999, teniendo en cuenta que la Declaración de la Sorbona era concebida como un primer paso de un proceso político de cambio a largo plazo de la enseñanza superior en Europa.

Se llega así a la celebración de una nueva Conferencia, que dará lugar a la Declaración de Bolonia el 19 de junio de 1999. Esta Declaración cuenta con una mayor participación que la anterior, siendo suscrita por 30 Estados europeos: no sólo los países de la UE, sino también países del Espacio Europeo de Libre Comercio y países del este y centro de Europa.

La Declaración de Bolonia sienta las bases para la construcción de un Espacio Europeo de Educación Superior, organizado conforme a ciertos principios (calidad, movilidad, diversidad, competitividad) y orientado hacia la consecución entre otros de dos objetivos estratégicos: el incremento del empleo en la Unión Europea y la conversión del sistema Europeo de Formación Superior en un polo de atracción para estudiantes y profesores de otras partes del mundo.

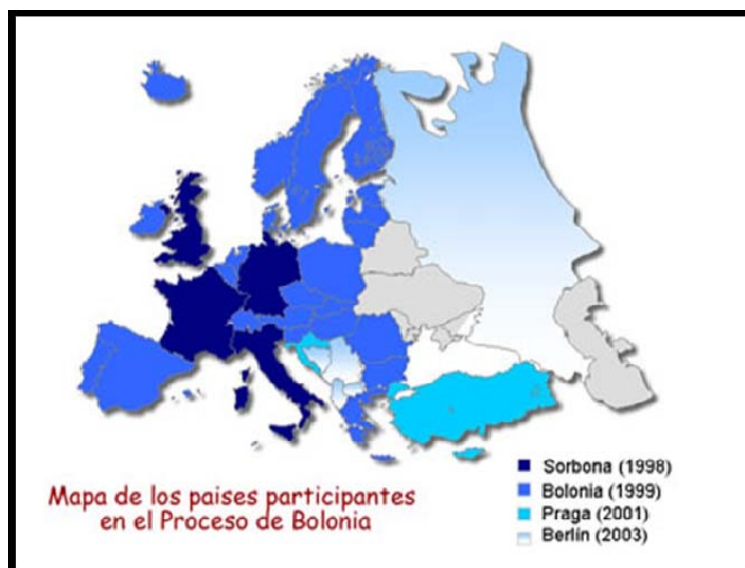


Ilustración 1.1.1. Mapa de los países participantes en el Proceso de Bolonia

Son seis los objetivos recogidos en la Declaración de Bolonia:

1. La adopción de un sistema fácilmente legible y comparable de titulaciones, mediante la implantación, entre otras cosas, de un Suplemento al Diploma.
2. La adopción de un sistema basado, fundamentalmente, en dos ciclos principales: Grado y Postgrado.
3. El establecimiento de un sistema de créditos común en toda la zona Europea de Educación. Este sistema es llamado “*Sistema Europeo de Transferencia de Datos*”, en inglés: “*European Credit Transfer System*” (ECTS). Mientras que en España el crédito actual, llamado crédito LRU (Ley de Reforma Universitaria) solamente comprende 10 horas lectivas, y que además no tiene en cuenta el tiempo que el alumno dedica al estudio fuera del horario lectivo, el crédito europeo, o crédito ECTS es equivalente a 25 ó 30 horas de material lectivo, entendiendo por material lectivo cualquier actividad de docencia, ya sea impartida en el aula o no.
4. La promoción de la cooperación Europea para asegurar un nivel de calidad para el desarrollo de criterios y metodologías comparables.
5. La promoción de una necesaria dimensión Europea en la educación superior con particular énfasis en el desarrollo curricular.
6. La promoción de la movilidad y superación de obstáculos para el ejercicio libre de la misma por los estudiantes, profesores y personal administrativo de las universidades y otras Instituciones de enseñanza superior europea.

1.1.3. ENSEÑANZA A DISTANCIA

Se denomina enseñanza a distancia a aquella en la que el alumno sigue los estudios desde su domicilio, sin necesidad de desplazarse hasta un centro educativo, o haciéndolo sólo ocasionalmente. El acceso a los materiales de aprendizaje se le facilita por diversos procedimientos, que han evolucionado con el progreso en los medios y tecnologías de la comunicación.

La enseñanza a distancia nace a finales del siglo XIX con la utilización de materiales impresos, que se enviaban por correo postal a todos los alumnos que se matriculaban en un curso de esta modalidad. La organización de estos estudios se origina en instituciones de enseñanza superior, entre las que cabe destacar el ‘Centro nacional de educación a distancia’ de Francia que todavía sigue funcionando en la actualidad. Ya en el s. XX, en 1969 inicia su andadura la ‘Open University’ (Inglaterra), que marcará un punto de inflexión tanto en el diseño de materiales como en la tutoría y gestión de la educación a distancia. En la década de los setenta nacen diversas universidades de este tipo; por ejemplo, la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) en España.

Con el tiempo la mayor parte de los sistemas tradicionales de enseñanza a distancia empezaron a adoptar las nuevas tecnologías a la par que estas se desarrollaban en la sociedad. De este modo nació la enseñanza asistida por ordenador, que se define por utilizar las nuevas tecnologías y la Internet con estos objetivos:

- mejorar la calidad del aprendizaje, dándole al estudiante la posibilidad de seguir un itinerario personalizado que le permita progresar a su ritmo y fomentar el autoaprendizaje
- facilitar el acceso a la formación y a la educación a todas las personas, al margen del lugar en el que se encuentren, de su ocupación y de sus limitaciones horarias, entre otros.

Junto a la enseñanza a distancia encontramos la enseñanza mixta o semipresencial, que combina fases presenciales con otras de enseñanza a distancia.

En el ámbito de la enseñanza de lenguas, la modalidad de enseñanza a distancia ha tenido una evolución similar a la del resto de especialidades. Así, del recurso a las cintas magnetofónicas y de emisiones de radio, con el apoyo de material escrito remitido por correo, se pasó a los cursos emitidos por televisión y de ahí al uso de ordenadores y plataformas digitales. En la actualidad nos encontramos en la tercera etapa de educación a distancia, que está caracterizada por la utilización de la informática e Internet como medio de enseñanza no presencial.

Los defensores de la enseñanza a distancia afirman que esta es la expresión más evidente de un nuevo paradigma educativo, en el que no es necesario que se dé la convergencia en un mismo lugar y tiempo de alumnos y profesores, y en el que la acción educativa y de aprendizaje tiene sus propios ritmos. En este sentido, cabe destacar la aparición de un nuevo perfil del profesor y del alumno, que completan este nuevo escenario educativo. Hay que subrayar, también, que este tipo de enseñanza ha permitido incorporar, por su misma configuración, las ventajas del aprendizaje autónomo, sustentado ahora en soportes multimedia interactivos.

1.1.4. ENSEÑANZA MULTIMEDIA

Los cambios en las formas de aprender, a raíz del desarrollo de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones, empezaron a tomar forma ya en 1957 con una máquina para entrenar mecanógrafos inventada por el inglés Gordon Pask.

El sistema de enseñanza multimedia se define como una combinación de informaciones de texto, sonido e imagen, coordinada por un ordenador, con la que el usuario puede interaccionar. Este sistema al principio generó desconfianza a los nuevos alumnos, pero con el tiempo, su uso se ha generalizado en la sociedad, debido a las ventajas de este tipo de enseñanza.

Las ventajas de la enseñanza multimedia son:

- Cada alumno puede ir a una velocidad en función de su capacidad.
- Libertad y flexibilidad de horarios.
- Práctica inmediata de lo que se está aprendiendo.

Una de las modalidades de esta nueva "educación digital", los denominados "programas multimedia", ha sido incorporada con éxito por algunos institutos de enseñanza. Esta metodología les permite captar nuevos clientes al ofrecer la iniciación de cursos casi todos los días del año, reducir los problemas de horarios y brindar a cada usuario un producto perfectamente adaptable a sus propias necesidades, capacidades

y exigencias. El concepto de las "clases perdidas" desaparece, ya que el alumno tiene la posibilidad de retomar sus lecciones otro día en el lugar exacto en que las dejó.

La enseñanza multimedia no es para cualquier persona, sino que depende de la edad; la gente más joven está más preparada para esta metodología; se siente comodísima con ella. En cambio, muchos de los que superan los cuarenta años no se adaptan o tardan más en hacerlo.

Otra de las ventajas que plantea el aprendizaje multimedia, es que, a fin de comprender perfectamente un determinado tema, existe la posibilidad de "volver atrás" tantas veces como sea necesario, algo que sería impracticable en una clase tradicional. A diferencia de los primeros programas educativos que dio la historia, que no eran más que secuencias de páginas escritas que la computadora ayudaba a presentar una tras otra, dirigiendo completamente al aprendiz y llevándolo por caminos trazados previamente por el programador, los actuales sistemas multimedia promueven un diálogo real entre el alumno y la máquina, y una interactividad dinámica que lo convierte en un sujeto verdaderamente activo, constructor de sus propios aprendizajes.

Según estudios de la Universidad de Extremadura (España), estos sistemas además incrementan la retención al presentar los contenidos a través de textos, imágenes y sonidos. Todo ello unido a las simulaciones y a la posibilidad de interactuar aumenta la motivación y el gusto por aprender.

Al principio la aplicación de los métodos de enseñanza multimedia también encontró resistencia por parte de algunos docentes. El profesor abandona el papel tradicional de mero transmisor de información y adquiere otros más significativos, como es el de proveedor de recursos, el de organizador o 'facilitador', mientras que el alumno alcanza posiciones de procesador activo de información jugando un papel clave en su proceso formativo. Se trata de un cambio muy grande en la cultura del aprendizaje.

1.1.5. ENSEÑANZA A TRAVÉS DE INTERNET (E-LEARNING)

Este tipo de enseñanza utiliza Internet para difundir conocimientos, de un modo similar a la enseñanza multimedia, con la ventaja de que además de los conocimientos predeterminados por un *software*, el aprendizaje se refuerza gracias a tutorías *online*, en las que se obtiene además un trato personalizado hacia el alumno.

Este método se puede considerar un paso más en la educación a distancia, ya que los objetivos son los mismos, pero los instrumentos para llevar a cabo dichos objetivos están adecuados a las nuevas tecnologías, obteniendo las ventajas de éstas, como por ejemplo:

- Gran cantidad de información utilizada.
- Flexibilidad de horarios.
- Mayor comunicación con el profesor.

Aun siendo un buen método de estudio, también existen varios inconvenientes, que hacen que este sistema no prolifere en el ámbito académico. El más importante es que al ser un método de estas características, existe una alta probabilidad de no concluir el proceso de aprendizaje. Esto es debido a la diferencia que supone el no interactuar con persona físicas, así como el hecho de que, al no haber ninguna obligación en estos cursos, el sujeto tiende a abandonar el método al presentarse cualquier complicación.

A pesar de estas dificultades, el *e-learning* es una de las apuestas para el futuro de la enseñanza, e incluso está proliferando en el ámbito universitario, ya que en algunos centros se llegan a impartir asignaturas completas utilizando este método.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. EL COMPRESOR: DEFINICIÓN Y TIPOS

Máquina que eleva la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gases y vapores. La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor. El caudal suministrado por un compresor en N l/min o en N m³/min es su capacidad. La unidad de medida del caudal suministrado viene indicada en aire aspirado (aire atmosférico a la presión y temperatura normales).

Los compresores se emplean para aumentar la presión de una gran variedad de gases y vapores para un gran número de aplicaciones. Un caso común es el compresor de aire, que suministra aire a elevada presión para transporte, pintura a pistola, inflamiento de neumáticos, limpieza, herramientas neumáticas y perforadoras. Otro es el compresor de refrigeración, empleado para comprimir el gas del vaporizador. Otras aplicaciones abarcan procesos químicos, conducción de gases, turbinas de gas y construcción.

2.1.1. ETAPAS DE COMPRESIÓN

Prácticamente todos los procesos de compresión son politrópicos, o sea que la temperatura se eleva con la relación de presión. Cuando la temperatura se eleva también lo hace el trabajo de compresión. Para limitar la elevación de la temperatura y para mejorar el rendimiento de la compresión se efectúa ésta normalmente en etapas, de forma que se pueda refrigerar el gas entre cada una de ellas.

La compresión en varias etapas eleva también el rendimiento volumétrico, ya que la relación de presión respecto a la primera etapa decrece.

Se puede demostrar que la potencia requerida para la compresión en varias etapas es mínima si el trabajo total se distribuye por igual entre las diversas etapas.

La refrigeración intermedia perfecta se logra cuando la temperatura del aire que sale del refrigerador intermedio es igual a la temperatura del aire de aspiración del compresor. Con una refrigeración intermedia perfecta se obtiene un consumo de potencia mínimo cuando las relaciones de presión de todas las etapas son iguales. Con el incremento en el número de etapas la compresión se acerca a la isoterma. Por una parte, el rendimiento de la compresión aumenta, pero por otra la compresión se hace más complicada y cara. Por cada nivel de compresión existe un óptimo del número de etapas que depende del uso que se vaya a hacer del compresor.

2.1.2. REFRIGERACIÓN INTERMEDIA

Para disipar el calor producido durante la compresión, normalmente se refrigeran todo lo posible los cilindros del compresor, las tapas de los cilindros y otras superficies que puedan afectar a la temperatura. Sin embargo, la refrigeración del aire entre las etapas de compresión es el medio más importante para controlar la temperatura. El sistema empleado para este propósito es conocido como refrigerador intermedio, que puede estar refrigerado por aire o líquido. En la ilustración se muestra un compresor con un refrigerador intermedio, enfriado por agua, construido con tubos aleteados.

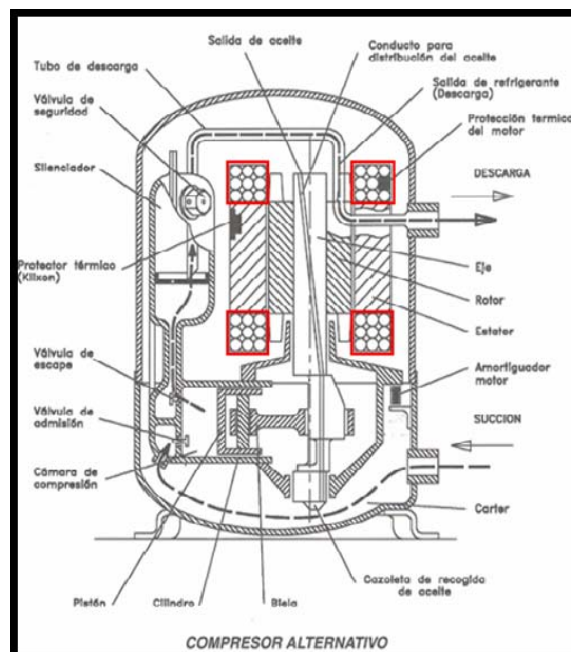


Ilustración 2.1.1. Refrigeración intermedia de un compresor

La refrigeración por aire se emplea en compresores relativamente grandes, normalmente en instalaciones al aire libre donde el calor se puede disipar fácilmente. La refrigeración por aire es la alternativa más conveniente porque elimina el problema del suministro de agua, el peligro de heladas, etcétera, pero resulta muy difícil conseguir en el refrigerador intermedio la temperatura del aire de aspiración.

2.1.3. TIPOS

Los compresores volumétricos se dividen en compresores alternativos o de émbolo (compresores de pistón) y compresores centrífugos o rotativos:

- **COMPRESORES DE PISTÓN.**

Un compresor de pistón se compone, en esencia, de un cárter con cigüeñal, un émbolo de pistón, un pistón y un cilindro. Este último lleva válvulas de aspiración y descarga. Los compresores de pistón pueden tener uno o más pistones. La disposición de los pistones se encuentra sobre un mismo cigüeñal, de otro modo sería muy difícil lograr el sincronismo entre los pistones. Si la compresión se realiza a presiones superiores de 5 ó 6 bar, la máquina normalmente es de dos etapas de compresión. Un compresor de dos etapas se puede considerar como dos compresores de una etapa. En uno de ellos el aire atmosférico se comprime hasta una presión que será la raíz cuadrada de la presión total después de la compresión final absoluta. Si, por ejemplo, esta presión total es de 8 bar, la primera etapa deberá comprimir hasta 2,83 bar, y la segunda hasta alcanzar los 8 bar. Se puede demostrar que la potencia necesaria es mínima si todas las etapas tienen la misma relación de compresión.

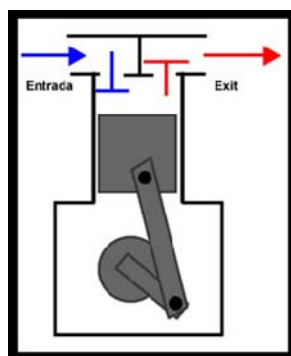


Ilustración 2.1.2. Esquema de funcionamiento de un compresor de pistones

- **COMPRESORES CENTRÍFUGOS O ROTATIVOS.**

Dentro de este tipo de compresores hay varios modelos que detallaremos a continuación:

- a. Compresores de paletas. Existen numerosas variantes del compresor del tipo aletas. En la figura se muestra un compresor de aletas tipo witting.

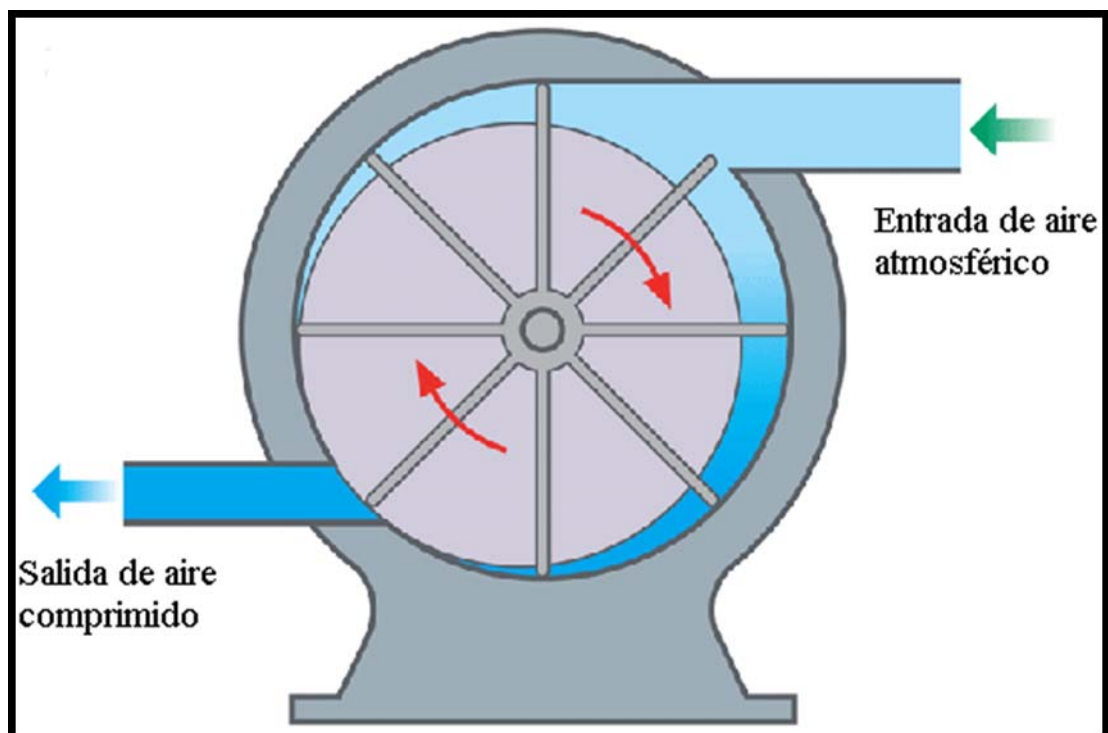


Ilustración 2.1.3. Compresor de paletas tipo Witting

El rotor es excéntrico en relación con la carcasa o el cilindro, y lleva una serie de paletas que se ajustan contra las paredes de la carcasa gracias a la fuerza centrífuga. Debido a la posición excéntrica de los cojinetes del rotor, las paletas en cada revolución se deslizan hacia fuera y hacia adentro de las ranuras del rotor. Tiene aros de encamisamiento para evitar que en las partes de roce de las paletas con la carcasa se produzca desgaste. El diámetro interior de estos aros antifricción es inferior al diámetro de la carcasa, y cuando las aletas presionan contra los aros producen un cierre adecuado contra el cilindro. Los aros están bien lubricados y siguen la dirección de la rotación. La película

de aceite en la pared del cilindro contribuye también a que el cierre sea perfecto.

El volumen creado entre dos paletas disminuye durante la rotación hacia la cámara de presión, donde se suministra el aire comprimido (o el gas). Es importante que los compresores del tipo de paletas hayan sido diseñados para satisfacer las necesidades de presión requeridas. Si han sido proyectados para una presión más elevada de la requerida, el aire encerrado entre las paletas se comprimirá hasta la presión del diseño, pero al llegar a la cámara más baja parte de la compresión no será isentrópica, pero si lo será, a presión total, en el espacio entre las paletas que esté más próximo a la cámara de presión.

El compresor de paletas no necesita válvulas, pero normalmente se instala una válvula de comprobación después del compresor. La capacidad se controla por estrangulación del flujo de descarga, a veces en combinación con la recirculación del aire comprimido desde la cámara de presión hasta la cara de aspiración. La regulación más económica se efectúa por medio del arranque y parada automáticos.



Ilustración 2.1.4. Compresor de paletas

Los compresores de paletas han sido diseñados como compresores de una etapa de hasta 5 bar. Para presiones superiores han de ser máquinas de dos o más etapas. Un compresor de paletas es una máquina bien equilibrada, apropiada para la conexión directa a un motor de velocidad relativamente alta. Sin embargo, su bajo rendimiento le impide competir con los compresores de pistón en la mayoría de los casos. Son compresores apropiados para trabajos en los que solamente se necesita baja presión. Los ensayos con compresores de paletas han demostrado que con el uso su rendimiento disminuye notablemente. Además, su consumo de lubricante es elevado.

- b. Compresor de pistón líquido. El compresor rotativo de pistón de líquido es una máquina con rotor de aletas múltiple girando en una caja que no es redonda. La caja se llena, en parte de agua y a medida que el rotor da vueltas, lleva el líquido con las paletas formando una serie de bolsas. Como el líquido, alternamente sale y vuelve a las bolsas entre las paletas (dos veces por cada revolución). A medida que el líquido sale de la bolsa la paleta se llena de aire. Cuando el líquido vuelve a la bolsa, el aire se comprime.

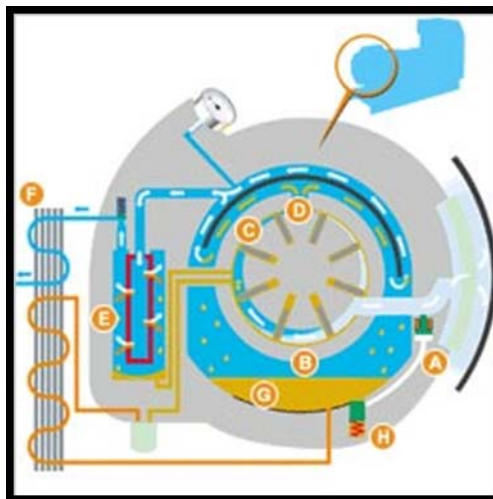


Ilustración 2.1.5. Compresor de pistón líquido

- c. Compresor de lóbulos (roots). Se conocen como compresores de doble rotor o de doble impulsor aquellos que trabajan con dos rotores acoplados, montados sobre ejes paralelos, para una misma etapa de compresión. Una máquina de este tipo muy difundida es el compresor de lóbulos mayor conocida como "Roots", de gran ampliación como sobre alimentador de los motores diesel o sopladores de gases a presión moderada. Los rotores, por lo general, de dos o tres lóbulos están conectados mediante engranajes exteriores. El gas que entra al soplador queda atrapado entre los lóbulos y la carcasa; con el movimiento de los rotores de la máquina, por donde sale, no pudieron regresarse debido al estrecho juego existente entre los lóbulos que se desplazan por el lado interno.

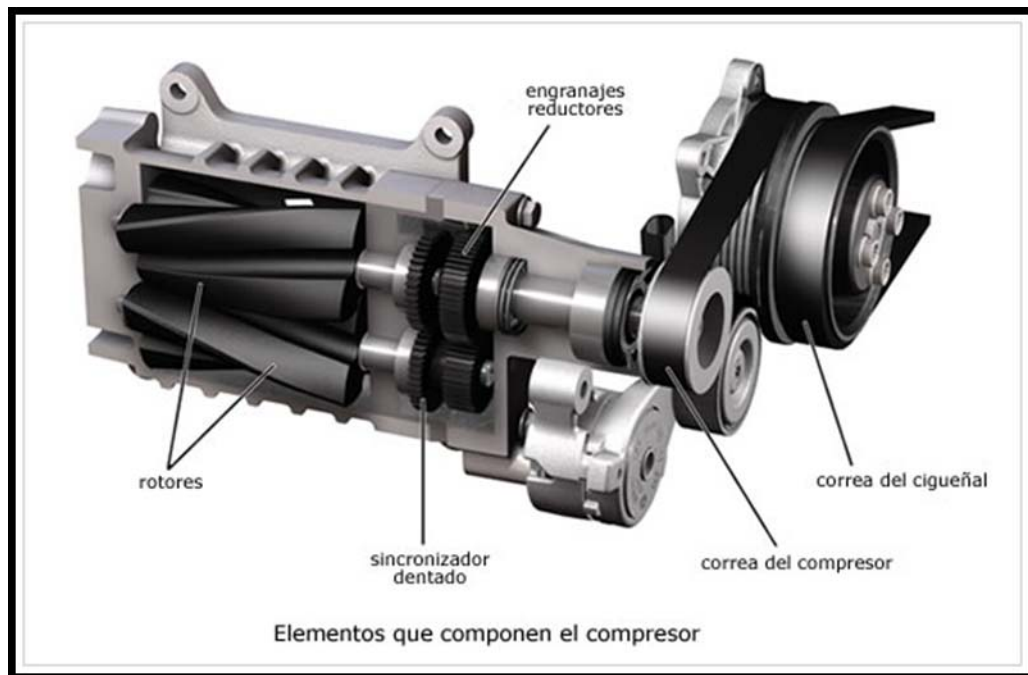


Ilustración 2.1.6. Compresor de lóbulos (roots)

- d. Compresor de tornillo. La compresión por rotores paralelos puede producirse también en el sentido axial con el uso de lóbulos en espira a la manera de un tornillo sin fin. Acoplando dos rotores de este tipo, uno convexo y otro cóncavo, y haciéndolos girar en sentidos opuestos se logra desplazar el gas, paralelamente a los dos ejes, entre los lóbulos y la carcasa.

Las revoluciones sucesivas de los lóbulos reducen progresivamente el volumen de gas atrapado y por consiguiente su presión, el gas así comprimido es forzado axialmente por la rotación de los lóbulos helicoidales hasta 1ª descarga.



Ilustración 2.1.7. Compresor de tornillos

2.1.4. DIFERENCIAS ENTRE COMPRESORES ALTERNATIVOS Y CENTRÍFUGOS

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alternativo	<ul style="list-style-type: none"> - Gran flexibilidad en rango operacional. - Maneja menor caudal a altas presiones. - Mayor eficiencia adiabática y menor coste de potencia. - Menos sensible a cambios en la composición del gas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto coste inicial. - Alto coste de mantenimiento. - Mayor tiempo de parada. - Tamaño y peso elevado. - Motores de baja velocidad y alto rendimiento.
Centrífugo	<ul style="list-style-type: none"> - Menor coste inicial. - Menor coste de mantenimiento. - Menor tiempo parado. - Menor tamaño y masa. - Motores de alta velocidad y bajo mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rango operativo limitado por golpe de ariete. - Límite inferior de caudal. - Alto coste de potencia del motor. - Sensible a cambios en composición y densidad del gas.

Tabla 2.1.1. Diferencias entre compresores alternativos y centrífugos

2.2. SOFTWARE UTILIZADO

2.2.1. SOLID EDGE

Solid Edge es un programa de parametrizado de piezas en 3D basado en un software de sistema de diseño asistido por ordenador (CAD). Permite el modelado de piezas de distintos materiales, doblado de chapas, ensamblaje de conjuntos, soldadura y funciones de dibujo en plano.

Para la realización del proyecto, concretamente, se ha utilizado la última versión de este software, denominado *Solid Edge with Synchronous Technology*, ya que dispone de dos tipos de entornos de trabajo diferentes, unos en los que se trabaja con el método tradicional y otros en los que se puede utilizar las ventajas de la tecnología síncrona.



Ilustración 2.2.1. Solid Edge

Con esta nueva técnica queda derogada el orden de generación de las operaciones, lo que quiere decir esto es que no importa el orden en que se hayan creado estas, recalcula sólo las geometrías necesarias, y con la introducción del *steering wheel* (volante de dirección), podemos dinámicamente modificar los sólidos sin siquiera tocar el boceto. Esta tecnología también permite actuar sobre las operaciones de geometrías importadas de otras plataformas CAD con total libertad, acelerando el proceso de creación y modificación de proyectos entre empresas que cuentan con programas diferentes.

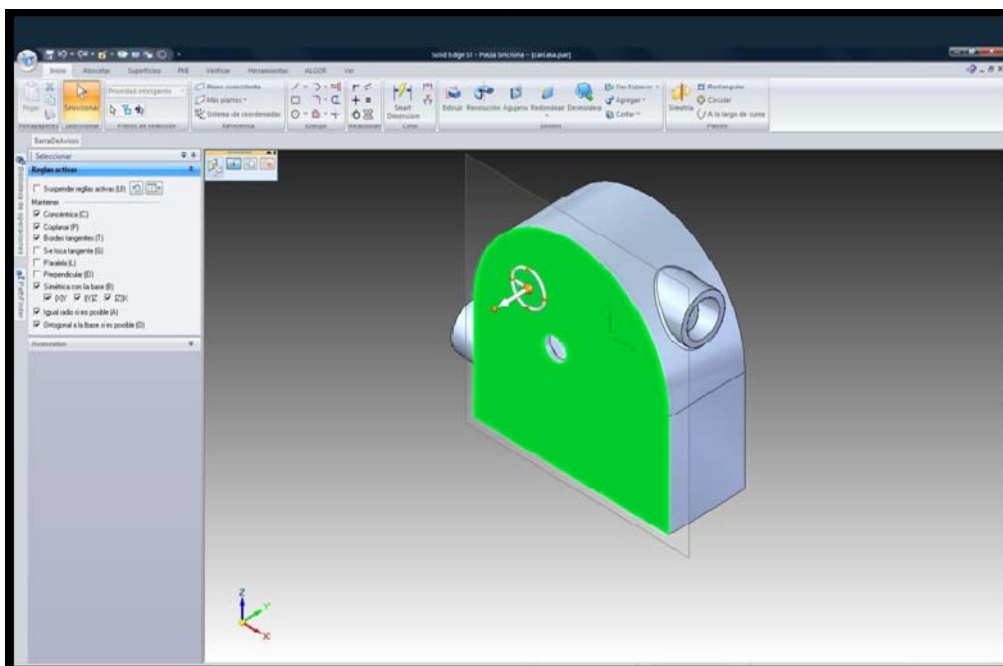


Ilustración 2.2.2. Steering wheel

Solid Edge dispone de diferentes ventanas gráficas para el modelado de piezas sólidas, de chapa, soldaduras, permite ensamblar conjuntos y crear planos de todos estos. Para acceder a ellos es necesario seleccionar el tipo entorno en el que se va a trabajar y la tecnología que va a ser empleada, seleccionando en la parte izquierda de la ventana de inicio la plantilla deseada. Todas tienen en común la disposición de las distintas barras que componen la ventana, cuyas funciones se describirán a continuación:

- **Botón aplicación:** contiene los comandos más comunes que anteriormente se encontraban bajo el menú *Archivos* (Nuevo, Guardar, Abrir...), además de las opciones de *Solid Edge* (tipo de plantilla a utilizar: *pieza ISO Tradicional*, *pieza ISO síncrona*, *Conjunto ISO Tradicional*,...)
- **Barra de comandos de acceso rápido:** es personalizable clicando sobre el icono que aparece al final de la barra. Activando o desactivando las opciones listadas, aparecerán los iconos en la barra de comandos de acceso rápido de manera que cada usuario disponga en ella de los comandos que considere más necesarios.
- **Barra de Títulos:** en ella se reflejan el nombre del programa, el entorno en el que nos encontramos (Pieza, Conjunto,...) y el del archivo con el que se está trabajando.
- **Fichas:** serie de pestañas con el nombre de los diferentes menús, las cuales tras activarlas se despliega la cinta de comandos correspondiente.
- **Cinta de comandos:** contiene todos los comandos utilizados en cada entorno, se usarán estos para construir modelos de pieza, chapa, soldadura, conjuntos y producir dibujos en el plano; conteniendo distintas opciones dependiendo del medio en el cual se encuentre.
- **EdgeBar:** ventana que por defecto se presenta en la parte izquierda del interfaz. Esta herramienta da acceso a una serie de opciones que difieren según el entorno en el cual se esté. Dentro del *EdgeBar* se situarán los distintos paneles acoplables: *PathFinder*, *la barra de Comandos*, *Biblioteca de operaciones*, *Familia de piezas*, *Capas*, *Sensores*, *Reproducción de operaciones*, *Engineering Reference*,...
- **Barra de avisos:** presenta todos los avisos y ayudas, permitiendo que el usuario este guiado en todo momento.
- **Comandos de visualización de vistas:** iconos ubicados en la parte inferior derecha de la pantalla, mediante los cuales se puede modificar el tamaño, la orientación, la posición, el tipo de vista (con bordes, sin ellos, transparente,...) de lo que está ubicado en la ventana gráfica.

- **Buscador de comandos:** permite encontrar comandos en la cinta del mismo nombre; introduciendo el nombre del que queremos visualizar y clicando sobre el icono *Buscar* nos localiza todos los comandos relacionados con el término indicado, mostrándolos en una ventana en la cual se muestran los iconos con su denominación y la función que realizan.
- **Barra de estado:** muestra mensajes importantes acerca de las acciones que se están ejecutando en el programa; está situada en la parte inferior izquierda de la pantalla.

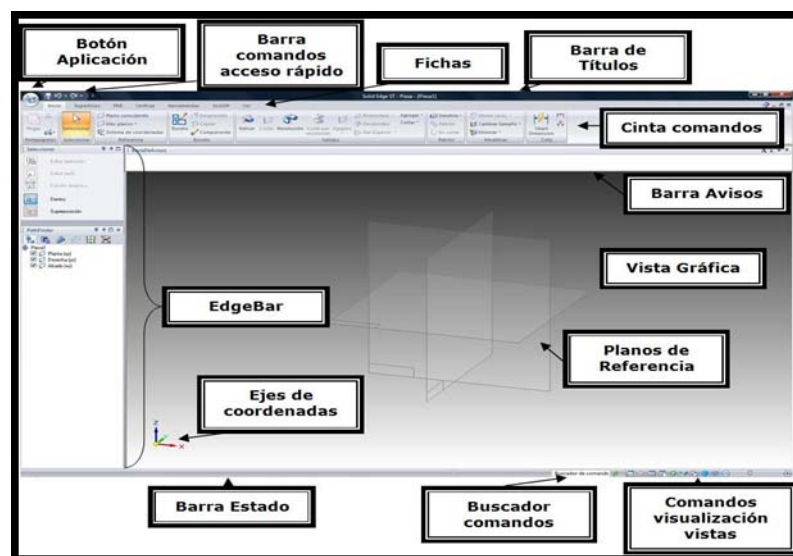


Ilustración 2.2.3. Barra de comandos

En nuestro caso se utilizará la última versión del programa. Únicamente algunos elementos, como los tornillos roscados, se realizarán en la aplicación tradicional. Esto no supondrá ningún problema ya que existe una total compatibilidad entre las dos versiones. Se explica a continuación el entorno pieza y conjunto síncrono.

Entorno pieza Síncrono

En esta aplicación se pueden diseñar una a una las piezas del que posteriormente van a componer la estructura; para ello se utilizan los iconos ubicados en la *cinta de comandos* que se despliega una vez activada la pestaña *Inicio*, como son *Extruir* (se utiliza para crear un sólido a través de un dibujo en el plano, extendiéndolo en su eje perpendicular), *Cortar* (permite eliminar partes del sólido creado), *Revolución* (mediante este comando se puede extruir o cortar un sólido fijando un dibujo en una superficie, un eje de revolución y el número de grados en los que este se emplea).

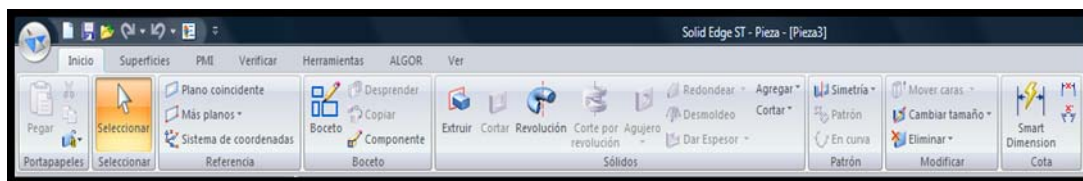


Ilustración 2.2.4. Entorno Pieza

Dentro del *EdgeBar*, se puede destacar la pestaña *PahtFinder de Operaciones*, el cual, es un panel acoplable cuya finalidad es guiar al usuario en el proceso de elaboración de la pieza, mostrando el conjunto de operaciones que la forman de modo esquemático. De esta forma se obtiene un rápido acceso a las acciones con las que se ha diseñado la figura para editarlas, visualizarlas, etc.

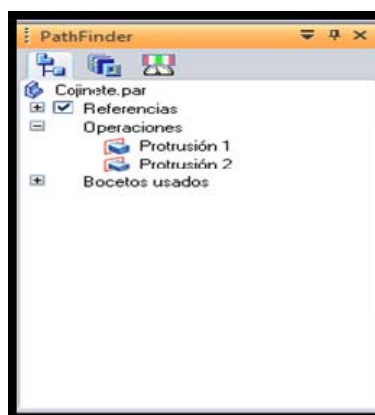


Ilustración 2.2.5. PathFinder

Entorno conjunto Síncrono

En este entorno se ensamblan los elementos que han sido creados anteriormente en los medios *Pieza ISO Síncrona* y los subconjuntos encajados en la plantilla *Conjunto ISO Síncrono*; para ello hay que introducirlos uno a uno en la ventana gráfica, seleccionándolas en la *Biblioteca de Piezas* del *EdgeBar*. Para definir el tipo de contacto que se da entre dos superficies de dos piezas contiguas, se activa el icono *Relacionar*, ubicado en la *cinta de comandos* que se despliega una vez marcada la pestaña *Inicio*, para que se abra una nueva ventana desplegable en la parte izquierda de la pantalla donde se puede elegir el tipo de relación y la distancia entre ellas.

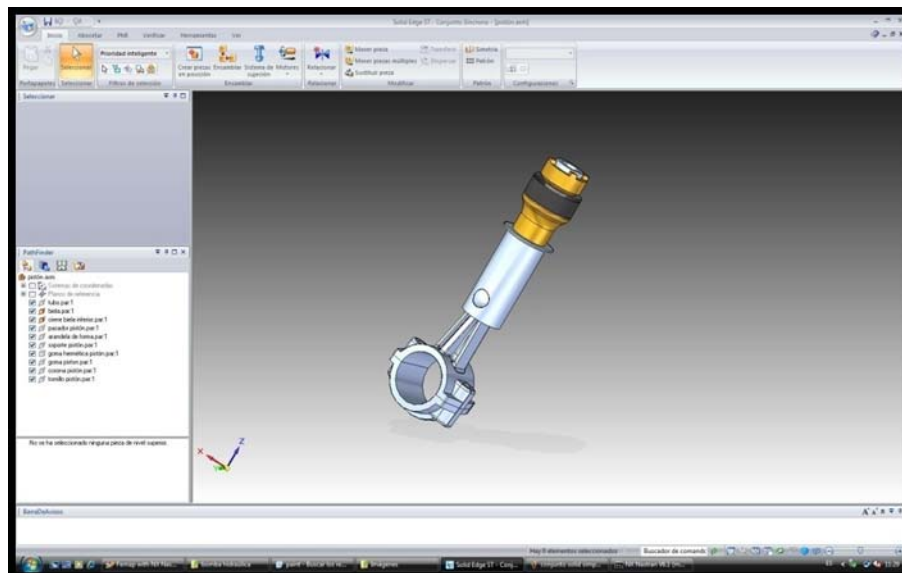


Ilustración 2.2.6. Entorno conjunto

Es muy importante verificar paulatinamente las interferencias que se dan entre las piezas al ensamblarlas, ya que cuanto antes sean detectadas antes pueden solventarse sin perjudicar al resto del conjunto. Esto se consigue mediante *Comprobar Interferencia* en la *Ficha Verificar*.

En el entorno Conjunto también se dispone del panel *PathFinder*, pero en este caso se visualizan las piezas y subconjuntos que componen el conjunto así como sus relaciones de contacto.

2.2.2. FEMAP

Las capacidades de FEMAP versión 10.0 (último modelo) incorpora una serie de mejoras importantes con respecto al paquete básico y permite trabajar como herramienta avanzada “stand-alone” como modelador geométrico, pre- y postprocesador universal para cualquier programa FEM/FEA de análisis por elementos finitos son las siguientes:

- Modelador geométrico
- Librería de elementos finitos
- Propiedades de los materiales
- Cargas y condiciones de contorno
- Capacidades avanzadas de mallado
 - Mallado sólido automático con tetraedros
 - Mallado semi-automático con hexaedros.
 - Mallado de superficies medias de sólidos
- Chequeo de la malla de elementos finitos
- Soporte de los solvers más importantes

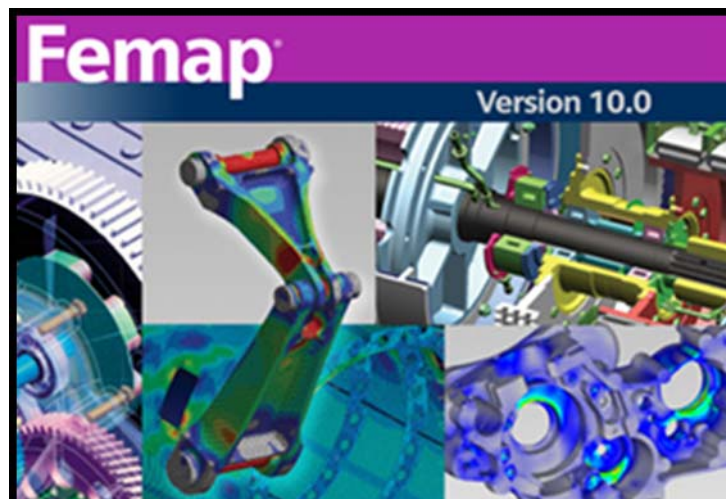


Ilustración 2.2.7. Femap

FEMAP es la herramienta líder a nivel mundial en programas de ingeniería basados en el Método de Análisis por Elementos Finitos. FEMAP permite modelar y estudiar el comportamiento de piezas o complejos ensamblajes y realizar análisis estáticos lineales, pandeo, modal, postdinámicos, no lineales, fluidos, transmisión de calor, optimización, etc.. y conocer virtualmente el comportamiento del producto antes de su fabricación asegurando así mayor calidad, menores costes de desarrollo y una reducción importante del tiempo de lanzamiento del producto al mercado.

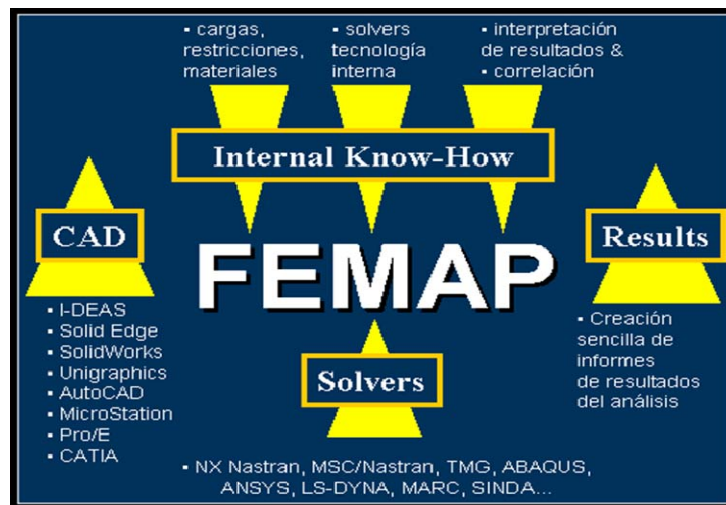


Ilustración 2.2.8. Esquema Femap

Historia

FEMAP (*Finite Element Modeling And Postprocessing*) fue creado en 1985 por la compañía Enterprise Software Products Inc. (ESP) como un programa Windows nativo, inicialmente solo como preprocesador para MSC/NASTRAN y MSC/PAL. En Septiembre de 1999 ESP fue adquirida por SDRC, compañía que se fusionaría con EDS, y más tarde ésta con UGS en el año 2001. Desde entonces se han comercializado en todo el mundo más de 14.000 licencias de FEMAP, gozando de un excepcional prestigio y aceptación entre ingenieros.

FEMAP se incluye empaquetado por otras compañías dentro de aplicaciones tan conocidas como CFDesign de Blue Ridge Numerics, MAYA TMG, SafeHULL de American Bureau of Shipping, Sinda/G de Network Analysis Inc., NE/Nastran Modeler de Noran Engineering Inc. y MSC/Nastran for Windows de MSC.Software.

En Febrero de 2005, UGS anuncia el lanzamiento de FEMAP V9.0 con un nuevo interface de usuario, integración con NX Nastran y capacidades avanzadas de análisis no lineal que le da un nuevo impulso al eterno pre&postprocesador FEMAP con más de 20 años de historia.

Como ejemplo de aceptación de FEMAP en la comunidad ingenieril, durante 1996 Boeing Huntsville estuvo evaluando FEMAP. En Enero de 1997 Boeing Huntsville seleccionó FEMAP como **primera herramienta de modelado y análisis en PCs**, conectado a servidores SGI donde corrían principalmente NASTRAN y ABAQUS. Actualmente Boeing Huntsville tiene más de 200 licencias de FEMAP trabajando en el desarrollo de la estación espacial.



Ilustración 2.2.9 . Boeing, FEMAP y la SpaceStation

Windows nativo

FEMAP es un programa Windows nativo con un interface de usuario compatible con Microsoft Office, fácil de usar, que ofrece las siguientes beneficios para el usuario:

- Permite abrir **múltiples modelos de análisis** en la misma sesión de trabajo, y utilizar múltiples vistas dentro de cada modelo.
- Soporta operaciones de “**copiar y pegar**” entre diferentes modelos.
- Manipular entidades de nivel superior tales como cargas y restricciones dentro del árbol de operaciones del modelo.

- Revisar y editar datos del modelo de FEMAP a través del **editor de entidades**, así como copiar y pegar información entre aplicaciones Windows.
- Usar **tablas de datos** para ordenar, agrupar y editar datos del modelo.
- Seleccionar entidades Femap desde el nivel superior del interface de usuario.

ACIS (*.SAT)
 Parasolid (*.X_T)
 IGES (*.IGS)
 StereoLithography (*.STL)
 AutoCAD DXF (*.DXF)
 STEP (*.STP)
 VDA (*.VDA)
 I-DEAS (*.IDI)
 Catia v4.x (*.MDL,*.EXP)
 Catia v5 (*.TRX,*.FMP)
 Pro/E (*.PRT)
 Solid Edge (*.PAR)
 Unigraphics (*.PRT)

Este programa nos ofrece una filosofía de sistema CAD neutro e independiente, capaz de comunicarse con los sistemas CAD 3D más importantes del mercado tales como Pro/Engineer, CATIA, Unigraphics NX, I-Deas y Solid Edge a través de ficheros nativos. Con SolidEdge y SolidWorks la comunicación puede realizarse a través de ficheros Parasolid (*.X_T) y con Autodesk Inventor a través de ficheros ACIS (*.SAT), permitiendo leer modelos geométricos tanto de piezas como ensamblajes. Incluye potentes herramientas para construir geometrías tales como líneas, arcos, superficies y sólidos utilizando los kernels geométricos 3D sólidos Parasolid y ACIS. Adicionalmente permite leer ficheros IGES y STEP, así como DXF 2D.

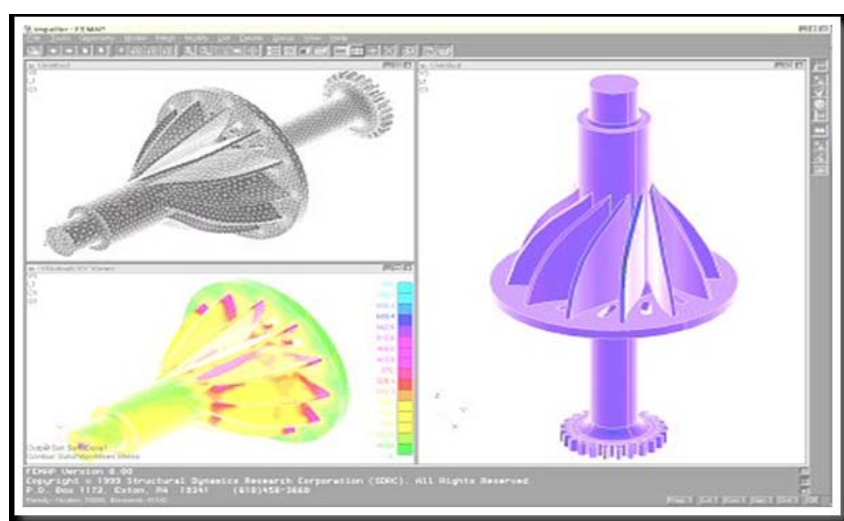


Ilustración 2.2.10. Programas CAD soportados por FEMAP

Solver Independiente

FEMAP ofrece un alto nivel de soporte de los principales solvers de Elementos Finitos del mercado, incluyendo las versiones más populares de NX Nastran, MSC/Nastran, Abaqus, Ansys, Marc, LS-Dyna, Sinda, TMG, COSMOS/M, etc ...

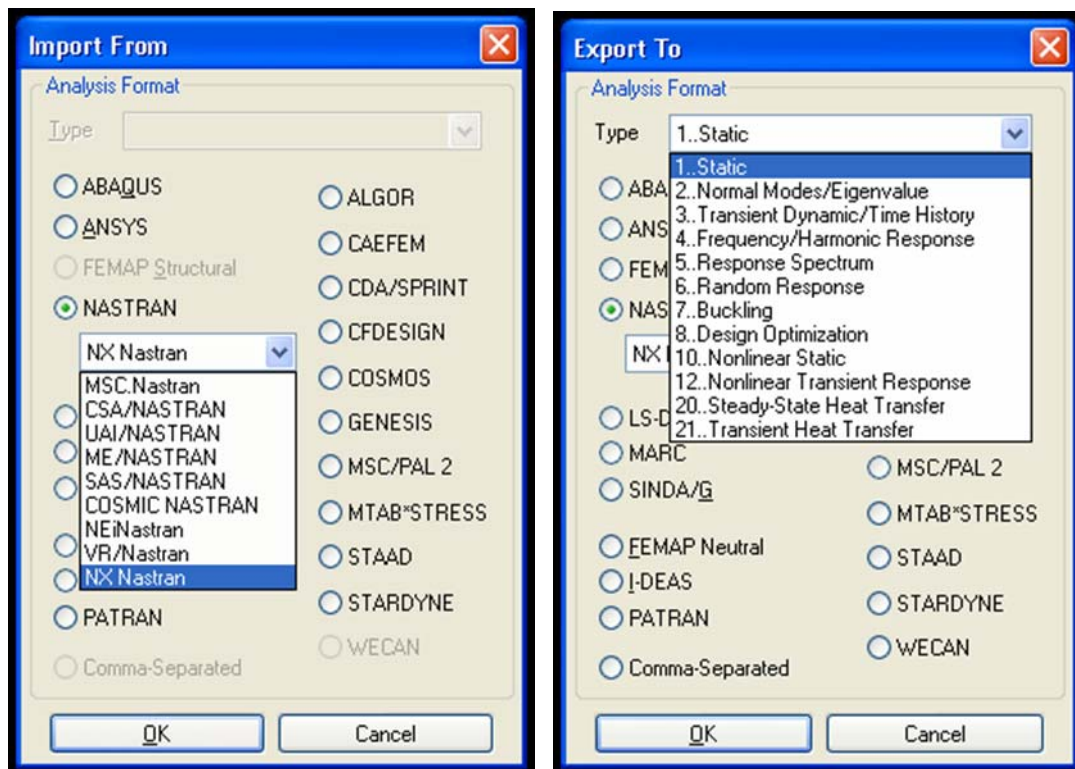


Ilustración 2.2.11. Solver de Femap

FEMAP permite pre- y postprocesar resultados de análisis por elementos finitos realizados con los programas de EF más importantes del mercado de modelos estáticos lineales, modales, pandeo, transmisión de calor, análisis no lineales, análisis dinámicos avanzados, etc.... La siguiente tabla muestra qué tipos de análisis es capaz de postprocesar FEMAP para diferentes paquetes MEF del mercado:

Analyses	NX Nastran	MSC Nastran	Abaqus	Ansys	LS Dyna	Marc
Static	•	•	•	•		•
Modal	•	•	•	•		•
Buckling	•	•	•	•		
Heat transfer	•	•	•	•		
Nonlinear	•	•	•	•	•	•
Transient response	•	•	•	•	•	
Frequency response	•	•	•	•		
Random response	•	•		•		
Explicit dynamics			•		•	
Post process	•	•	•	•		•

Ilustración 2.2.12. Tipos de análisis soportados por FEMAP de algunos paquetes MEF del mercado

FEMAP está disponible en las siguientes configuraciones:

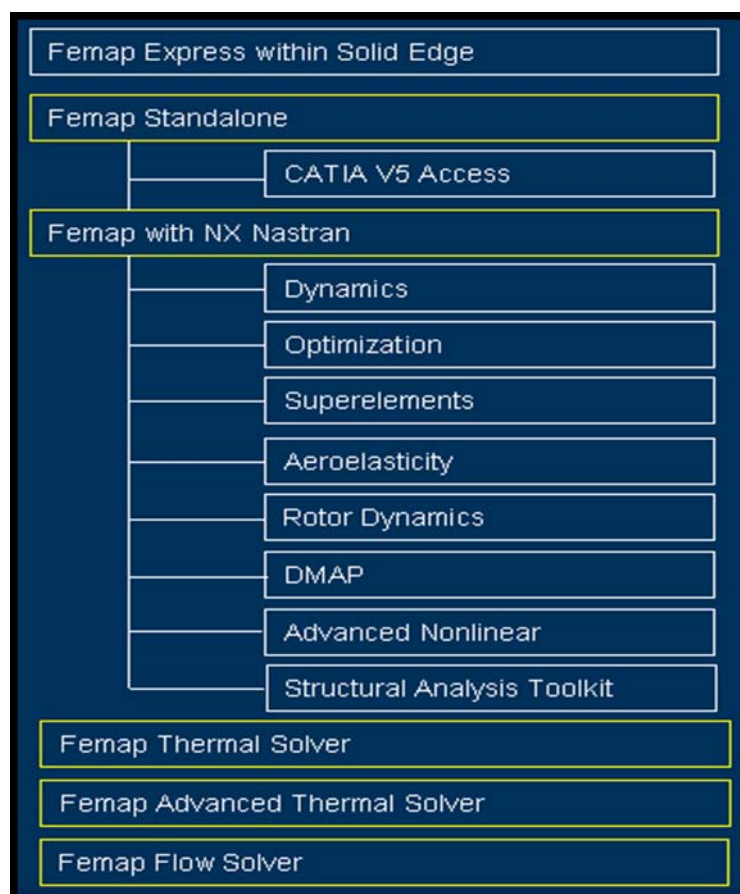


Ilustración 2.2.13. Configuraciones Femap

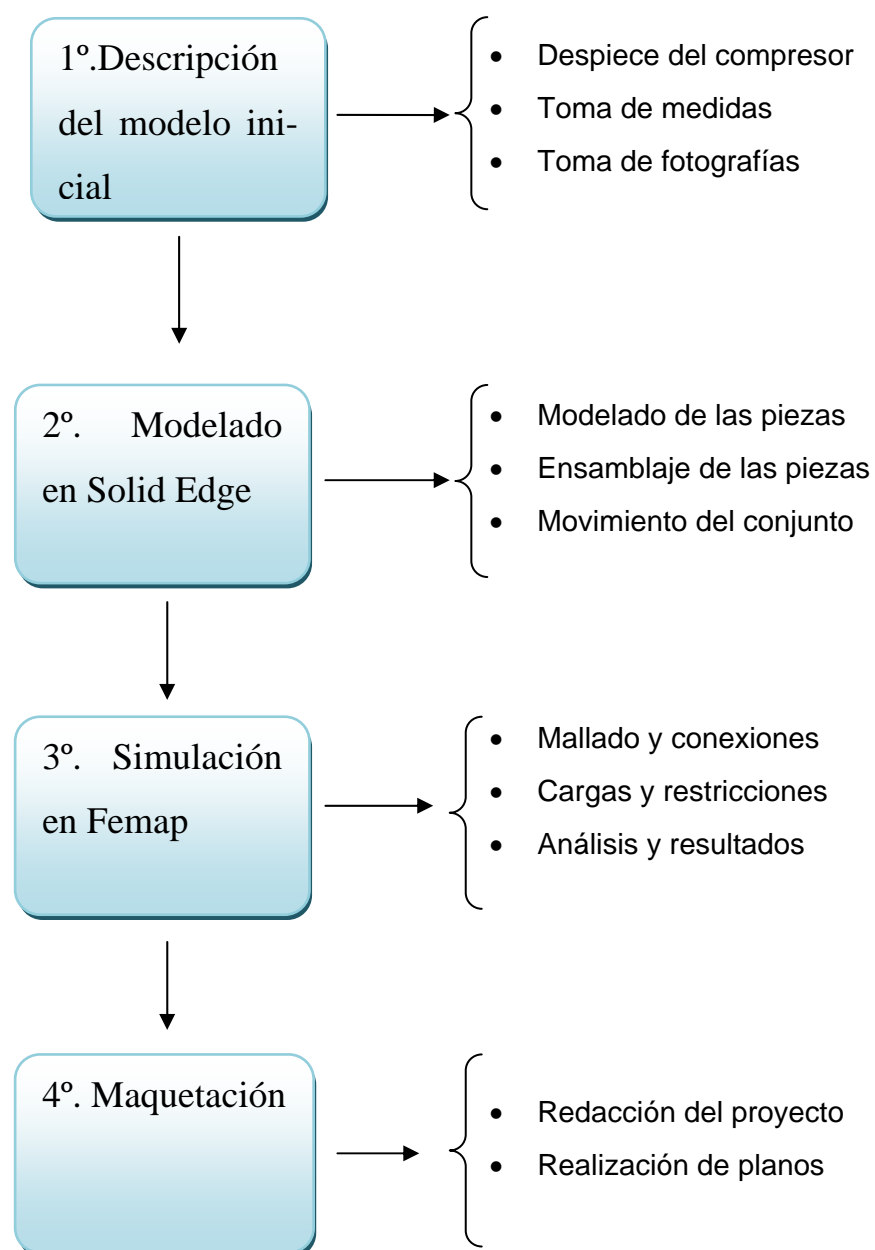
FEMAP Express integrado en Solid Edge.

- FEMAP pre&postprocesador “stand-alone”: Femap ofrece un entorno universal e independiente en el cual modelizar, simular y postprocesar resultados de elementos finitos de cualquier paquete FEM/FEA. Como módulo adicional dispone de conversor para CATIA V5.
- FEMAP with NX Nastran: Integración de Femap y NX Nastran que combina la avanzada potencia y funcionalidad de Femap como pre&postprocesador con la tecnología de cálculo de NX Nastran.
- Femap TMG Thermal Solver: añade a Femap capacidades básicas de cálculo de transmisión de calor por conducción, convección, radiación y cambios de fase.
- Femap TMG Advanced Thermal Solver: añade a Femap capacidades avanzadas de análisis térmico, tales como modelado de conductos y análisis acoplado de convección + flujo de fluidos.
- Femap TMG Flow Solver: añade a Femap capacidades para realizar análisis de mecánica computacional de fluidos (CFD).
- FEMAP TMG Structural Analysis Toolkit: Excelente complemento al post-procesador de FEMAP que permite acelerar significativamente la evaluación de resultados de NASTRAN, particularmente en grandes modelos con numerosos casos de carga.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

A continuación se detalla el orden cronológico que se ha seguido para la realización del proyecto.



3.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO INICIAL

3.2.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se procederá a detallar de forma individual las piezas que componen el conjunto inicial, así como los materiales con los que ha diseñada cada una, antes de ser modelado para realizar los ensayos pertinentes. No aparece la descripción del modelo inicial del compresor de paletas porque es un modelo totalmente inventado.

Además iremos comparando las piezas reales con las diseñadas a través de *Solid Edge* para comprobar que son similares.

3.2.2. PIEZAS Y SUBCONJUNTOS DEL MODELO

- **Bloque**

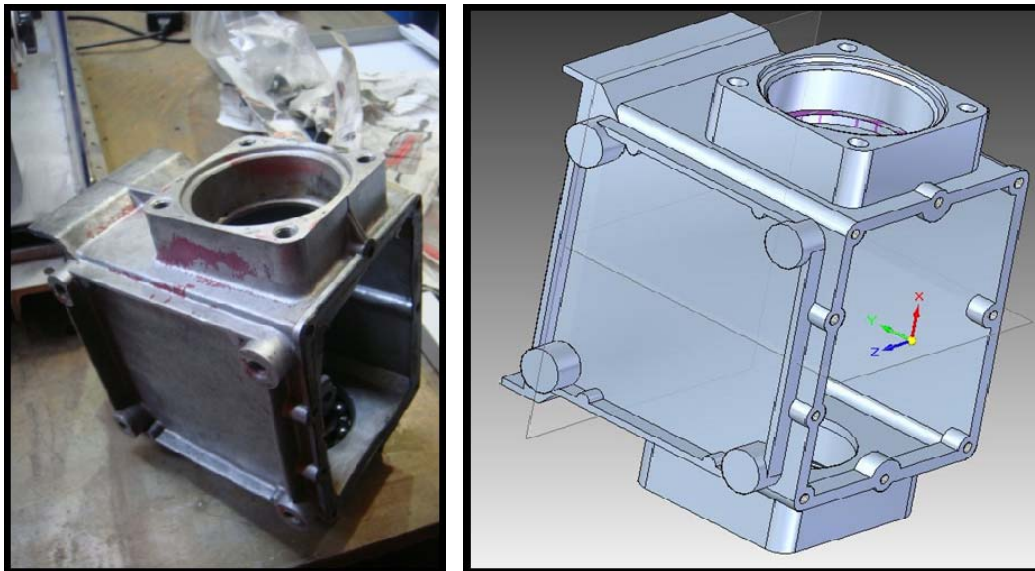


Ilustración 3.2.1. Comparación bloque real-bloque modelado. Vista general

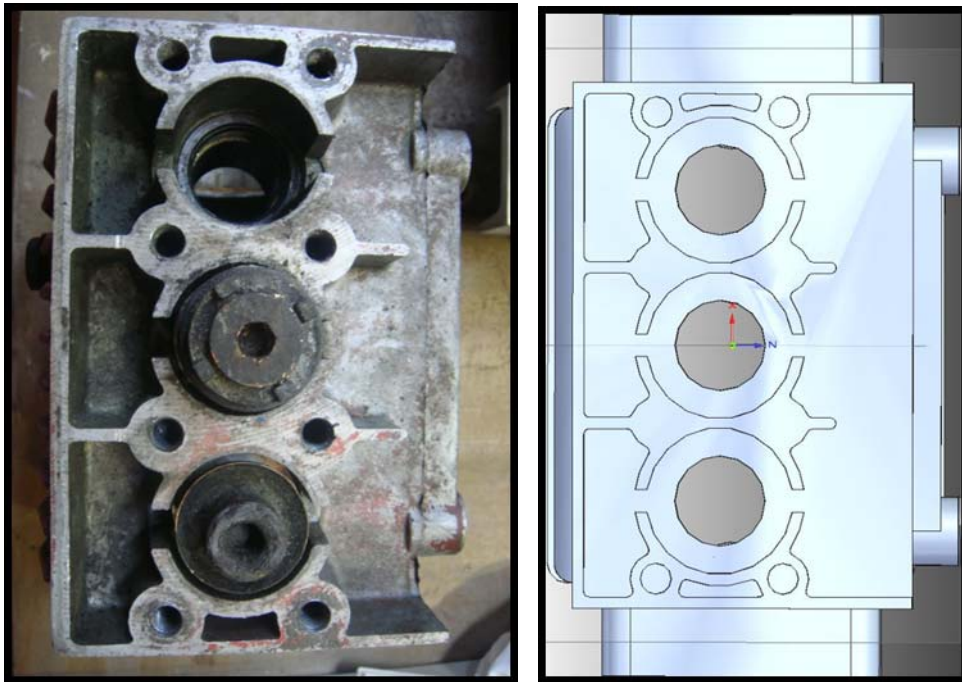


Ilustración 3.2.2. Comparación bloque real-bloque modelado. Vista de la planta

- **Cárter**

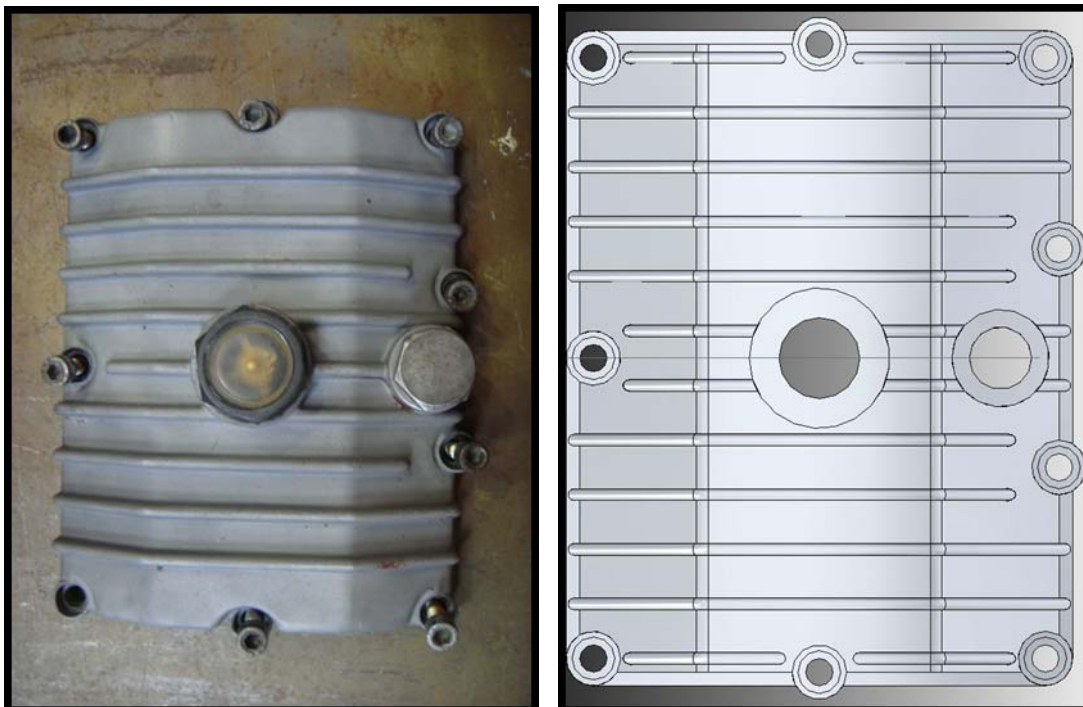


Ilustración 3.2.3. Comparación cárter real-cárter modelado. Vista de la planta

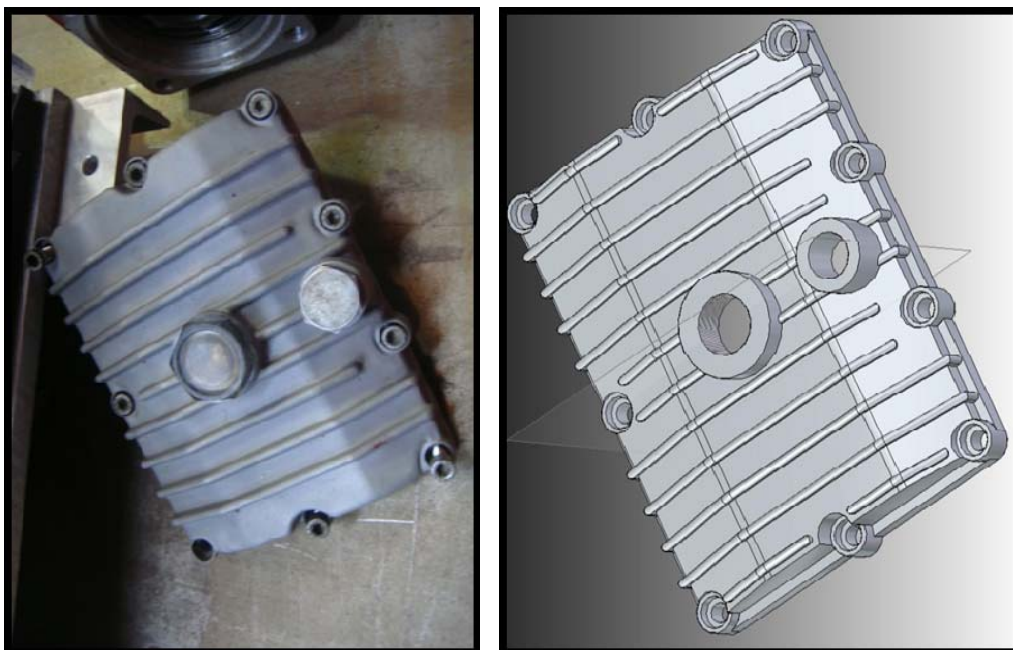


Ilustración 3.2.4. Comparación cárter real-cárter modelado. Vista general

- Cigüeñal

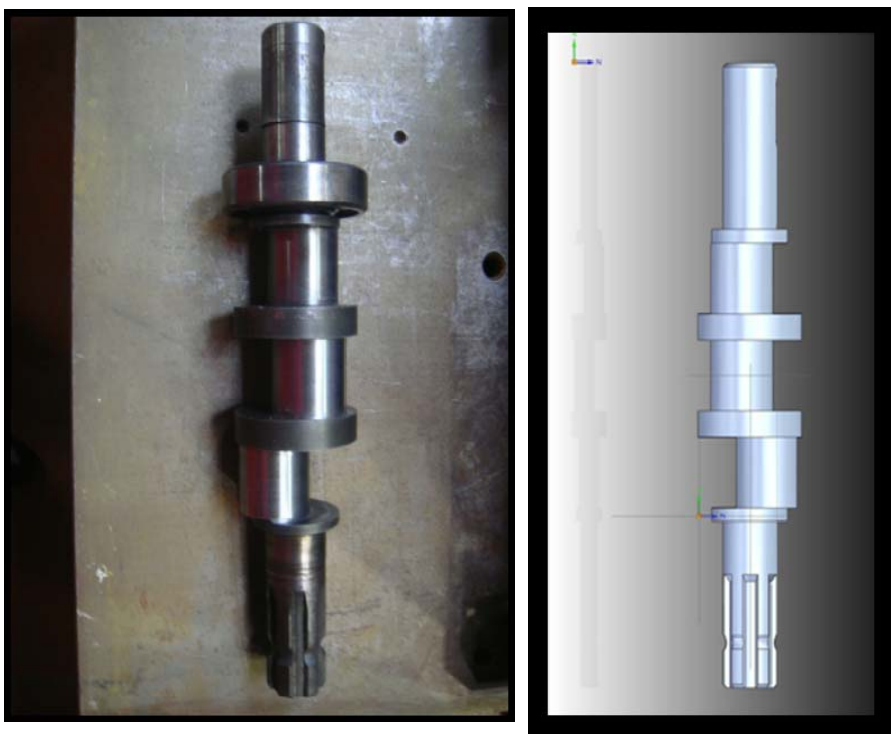


Ilustración 3.2.5. Comparación cigüeñal real-cigüeñal modelado

- Rodamientos



Ilustración 3.2.6. Comparación rodamiento real-rodamiento modelado

- Junta de culata

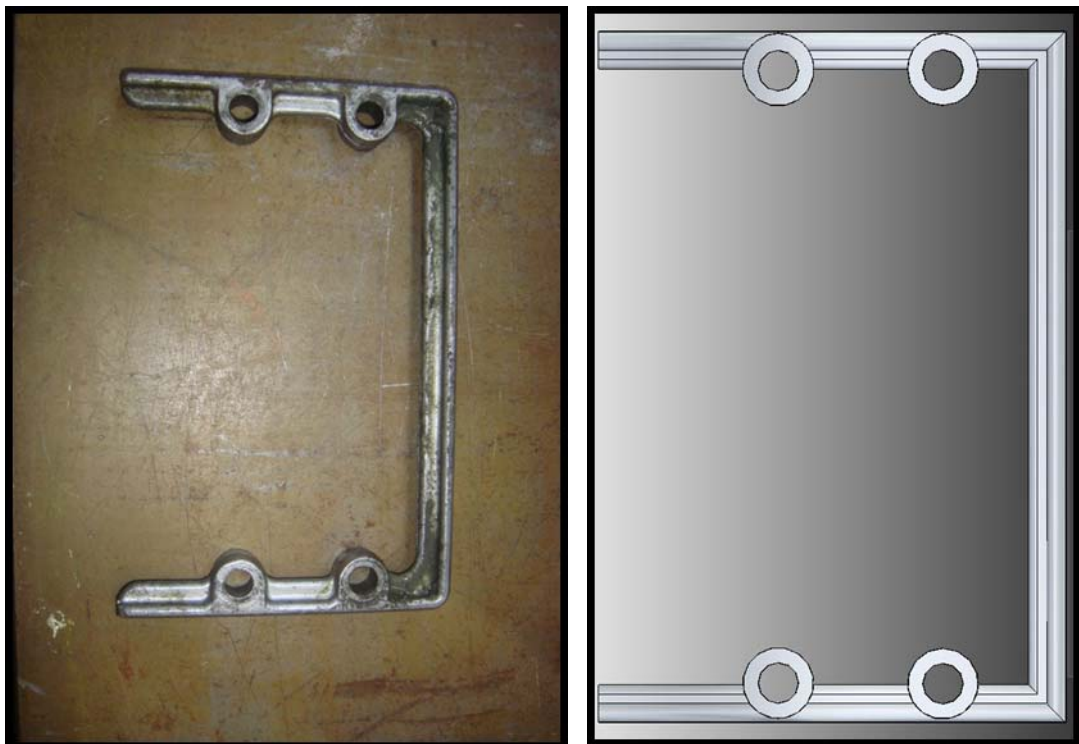


Ilustración 3.2.7. Comparación junta de culata real-junta de culata modelada

- Culata

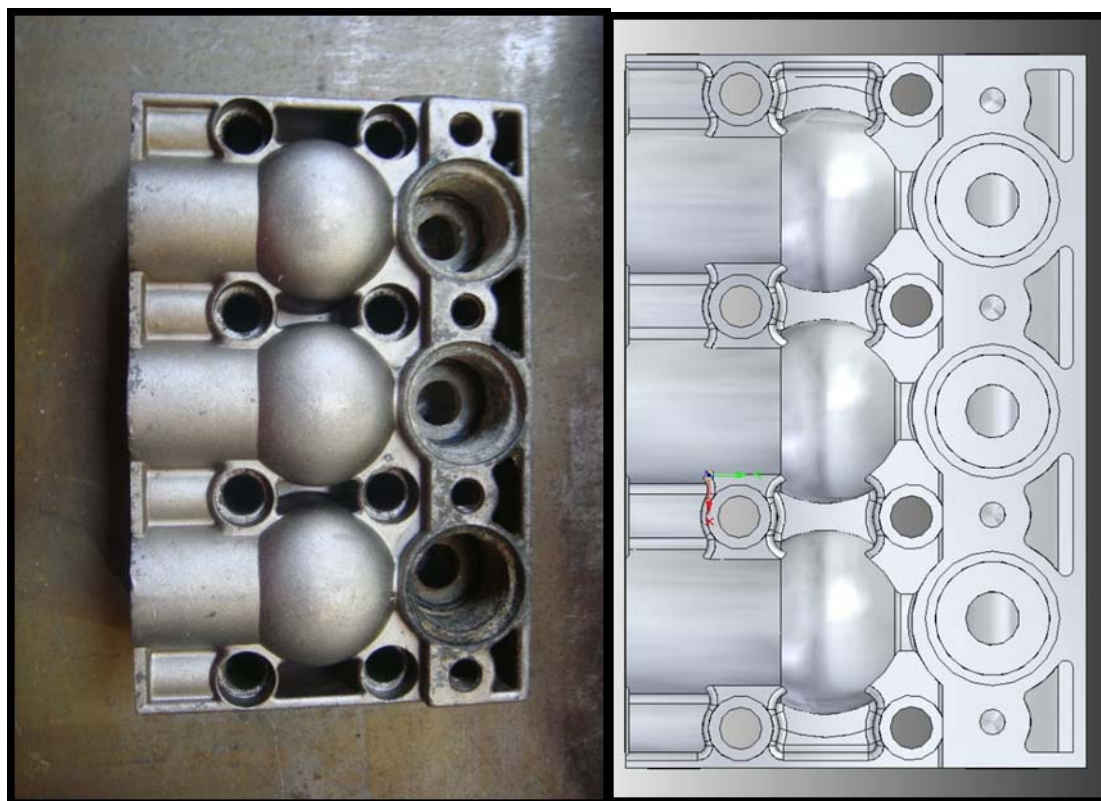


Ilustración 3.2.8. Comparación culata real-culata modelada. Vista de planta

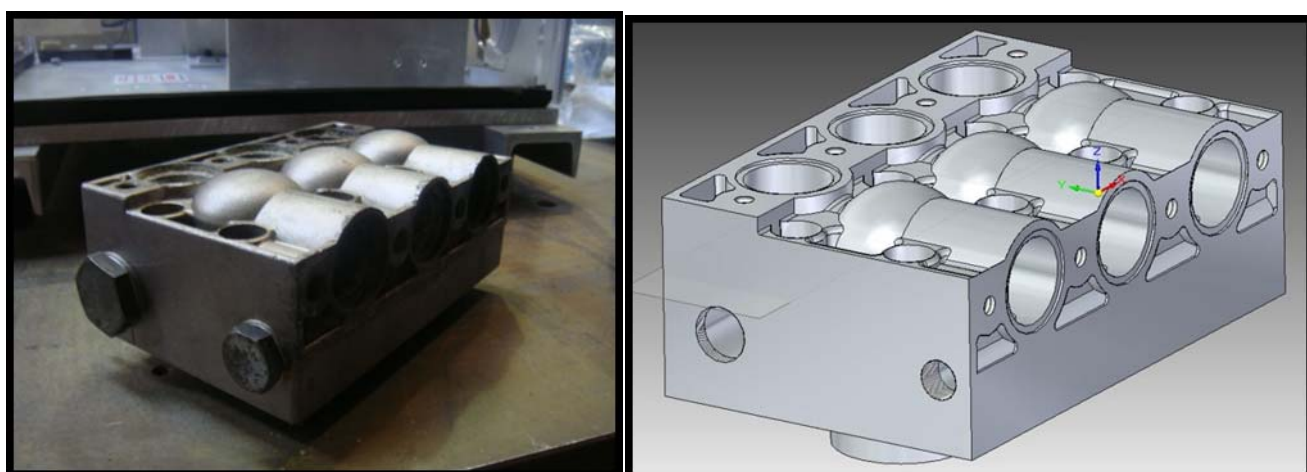


Ilustración 3.2.9. Comparación culata real-culata modelada. Vista general

- Subconjunto válvula

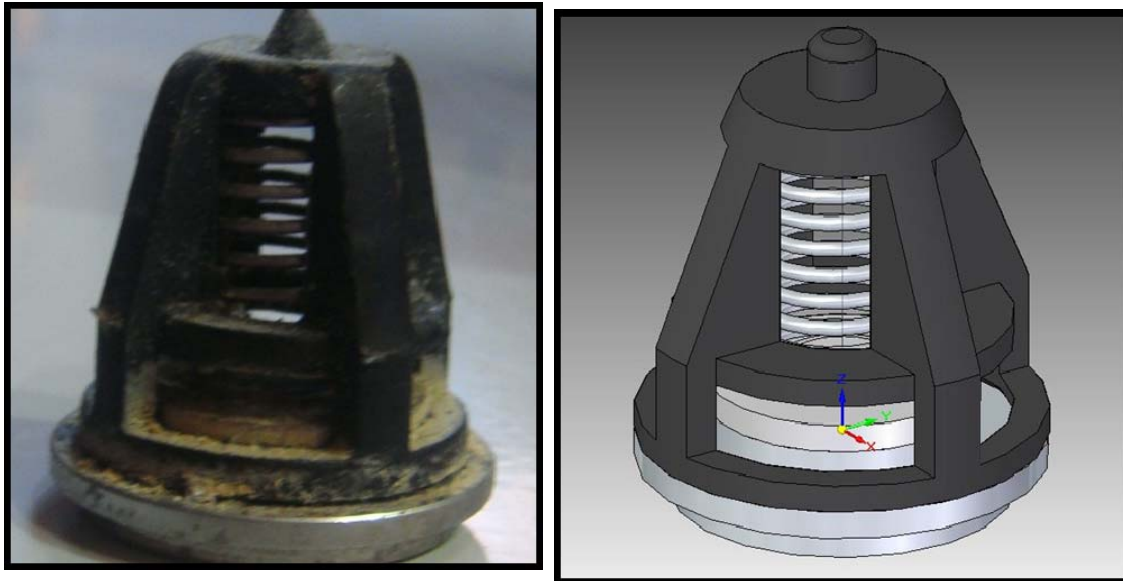


Ilustración 3.2.10. Comparación subconjunto válvula real-subconjunto válvula modelado

- Cierre válvulas



Ilustración 3.2.11. Comparación cierre válvulas real-cierre válvulas modelado. Vista delantera

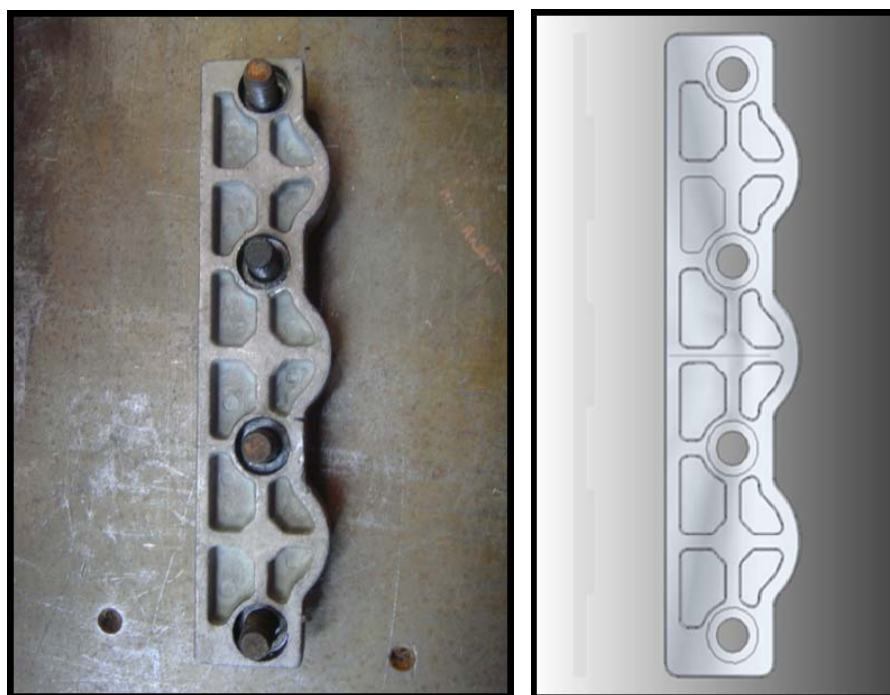


Ilustración 3.2.12. Comparación cierre válvulas real-cierre válvulas modelado. Vista trasera

- Subconjunto pistón

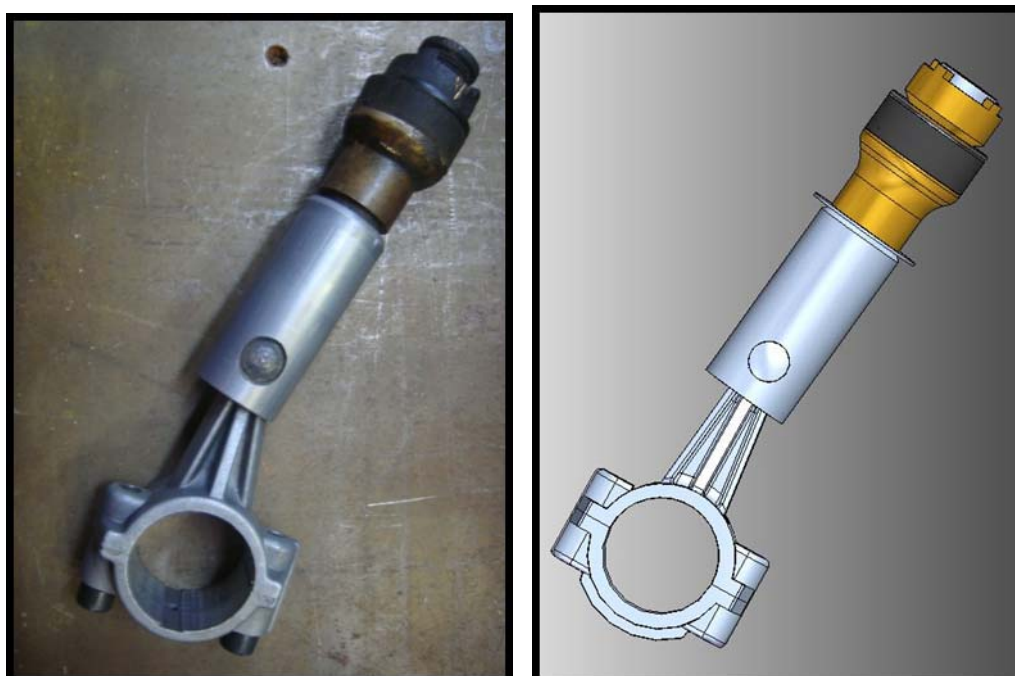


Ilustración 3.2.13. Comparación subconjunto pistón real-subconjunto pistón modelado

3.3. MODELADO DE LOS COMPRESORES EN SOLID EDGE

3.3.1. COMPRESOR DE PISTONES

➤ *Introducción*

El compresor de pistones consta de un gran número de piezas, por ese motivo en el presente proyecto constarán los subconjuntos ya montados que darán lugar posteriormente al conjunto completo. Para el modelado del compresor en **Solid Edge Synchronous Technologies**, se han tomado las medidas reales y se ha intentado que el diseño final sea lo más real posible. También se han realizado algunas simplificaciones necesarias pero que no tienen influencia en el funcionamiento final.

➤ *Piezas y subconjuntos*

- **Bloque**

El bloque es la pieza más grande del compresor. Normalmente está construido de aluminio o hierro. En él se alojan los cilindros así como los soportes de apoyo del cigüeñal.

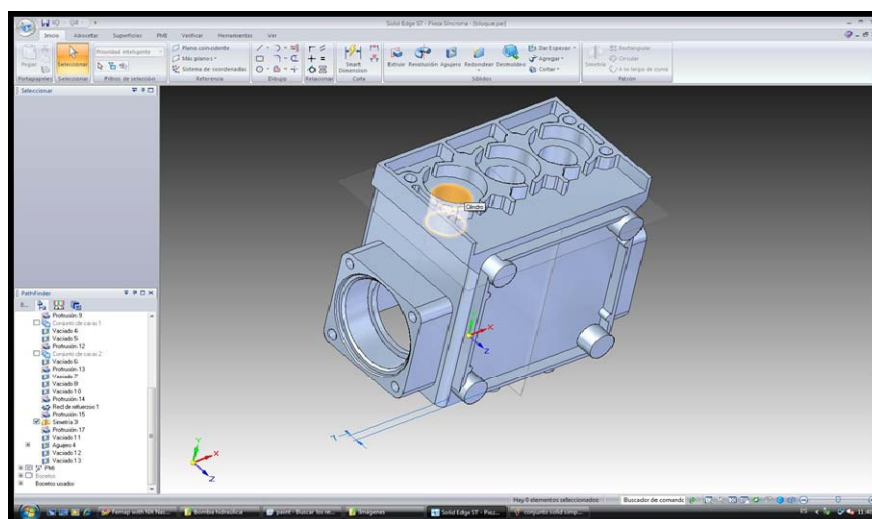


Ilustración 3.3.1. Bloque

- **Cárter**

Es el depósito de aceite lubricante, es la tapa inferior del motor, dentro de la cual se mueve el cigüeñal. En su parte inferior está provisto de un tapón de vaciado, que es el lugar por donde se extrae el aceite cuando es necesario su cambio. Generalmente esta tapa está provista de aletas en su parte externa y se emplean para mantener el aceite a una buena temperatura de funcionamiento, que oscila generalmente entre los 80°C y los 90°C.

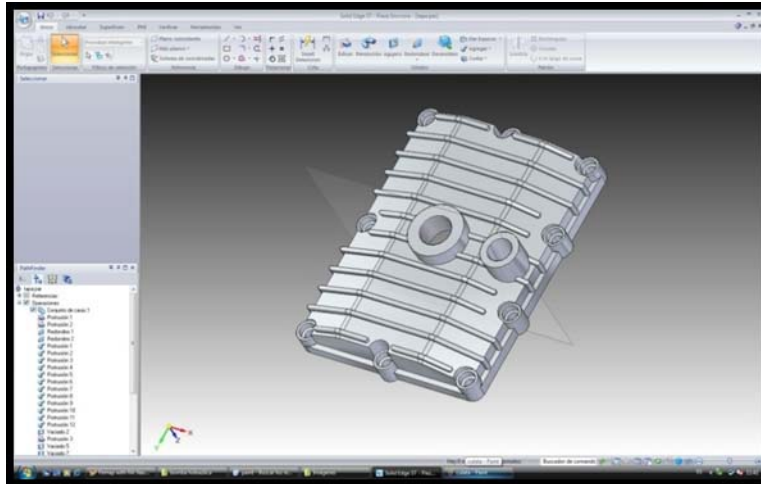


Ilustración 3.3.2. Cárter

- **Cigüeñal**

Este elemento del motor hace parte del conjunto biela - manivela, directamente es el árbol en donde se encuentran las manivelas. Se considera una de las piezas más importantes del motor, ya que recoge y transmite todos los cambios de potencia desarrollados por cada uno de los pistones.

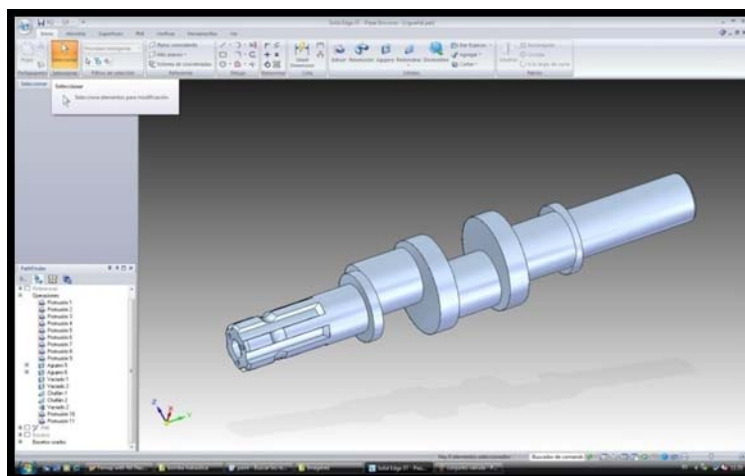


Ilustración 3.3.3. Cigüeñal

- **Rodamientos**

Es el elemento mecánico que reduce la fricción entre el cigüeñal y el bloque. Sirve de apoyo al cigüeñal y facilita su movimiento.

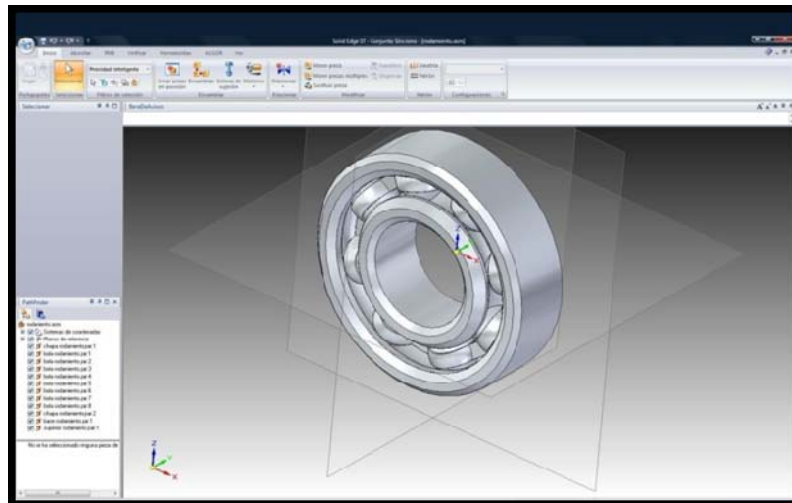


Ilustración 3.3.4. Rodamiento

- **Junta de culata**

La junta de culata debe permitir hermetizar varios sistemas:

- El sistema de refrigeración a la culata
- El sistema de lubricación a la culata
- El cierre cámara cilindro

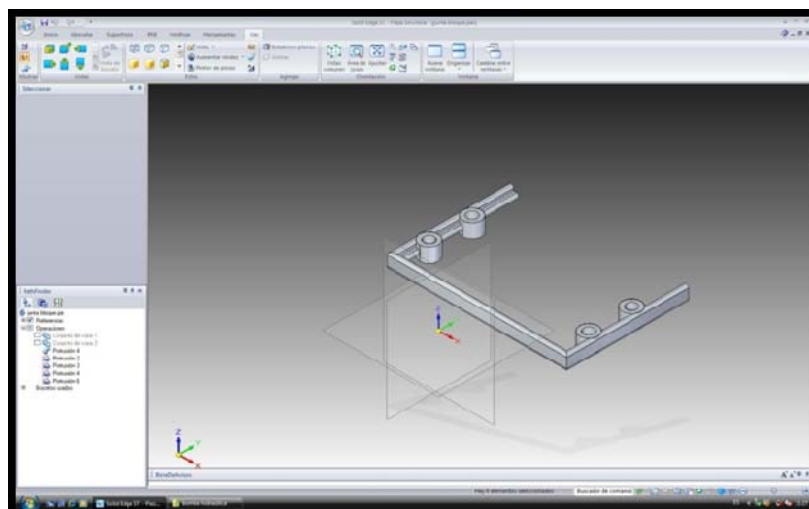


Ilustración 3.3.5. Junta de culata

- **Culata**

Constituye el cierre superior del bloque motor y sobre ella se asientan las válvulas. La culata presenta una doble pared para permitir el paso del líquido refrigerante. Va unida al bloque mediante tornillos y la junta de culata.

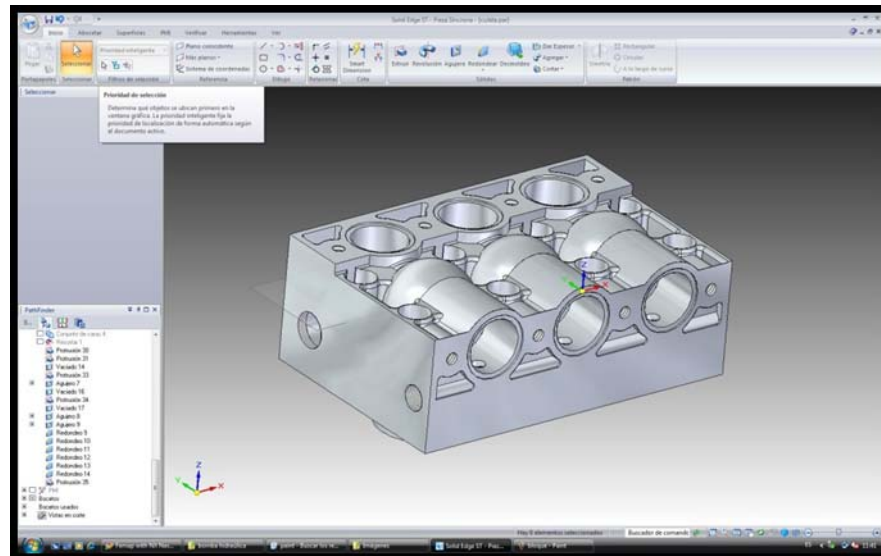


Ilustración 3.3.6. Culata

- **Subconjunto válvula**

Una válvula es un dispositivo que regula el paso de líquidos o gases en uno o varios tubos o conductos impidiendo el retroceso del fluido que circula por dichos conductos.

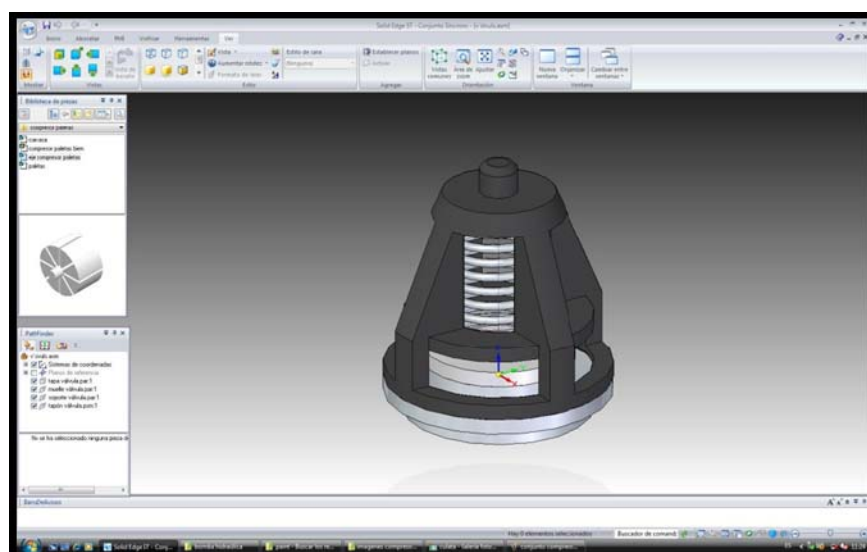


Ilustración 3.3.7. Subconjunto válvula

- **Cierre válvulas**

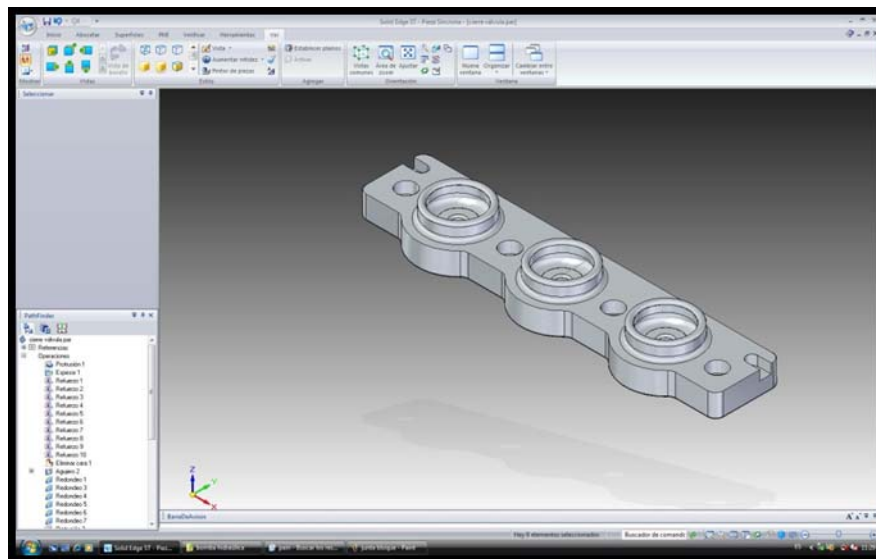


Ilustración 3.3.8. Cierre válvulas

- **Subconjunto pistón**

Se trata de un émbolo que se ajusta al interior de las paredes del cilindro. Efectúa un movimiento alternativo, obligando al fluido que ocupa el cilindro a modificar su presión y volumen o transformando en movimiento el cambio de presión y volumen del fluido. A través de la articulación de biela y cigüeñal, su movimiento alternativo se transforma en rotativo en este último. Puede formar parte de bombas, compresores y motores.

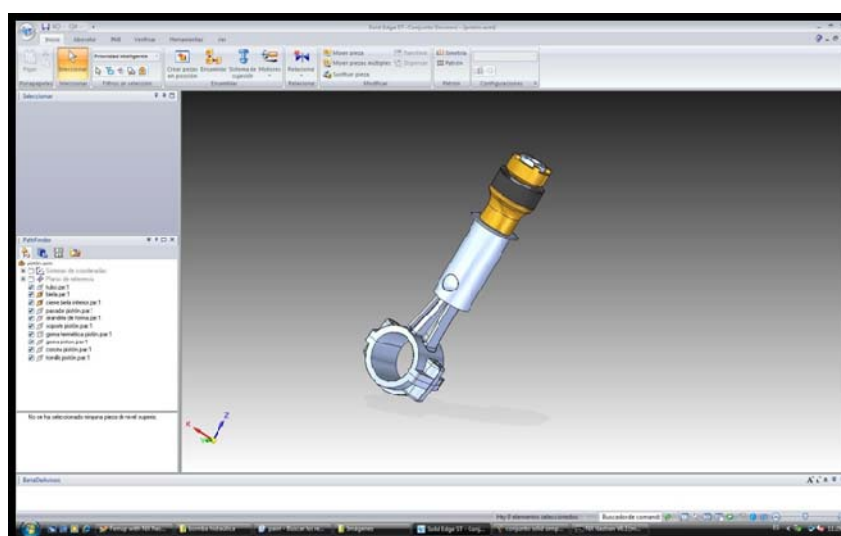


Ilustración 3.3.9. Subconjunto pistón

- **Compresor de pistones (conjunto)**

Una vez construidas todas las piezas y los subconjuntos, ensamblamos todo con el entorno conjunto síncrono.

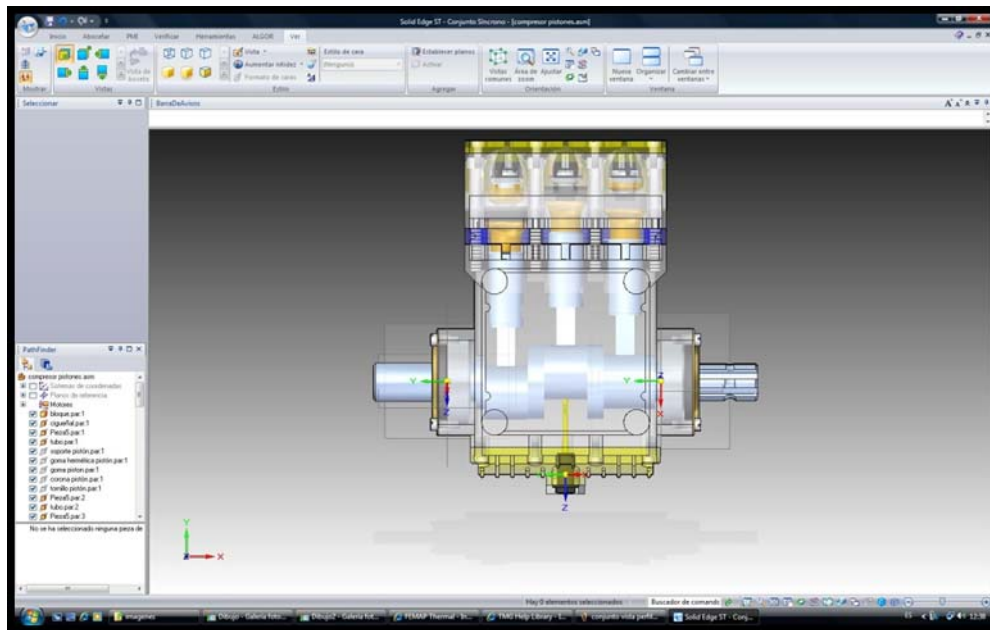


Ilustración 3.3.10. Compresor de pistones (conjunto). Vista alzado

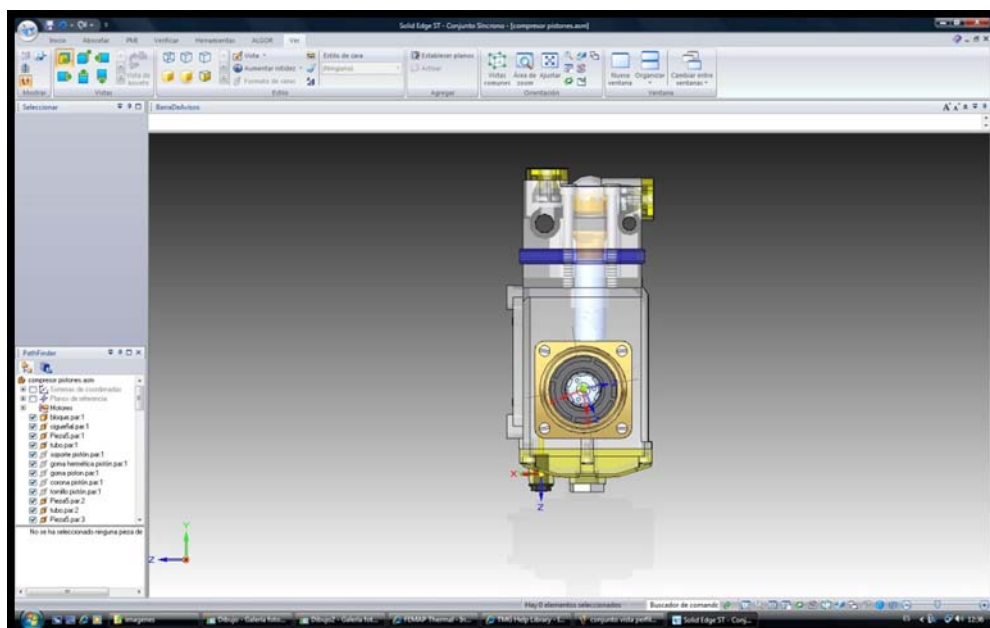


Ilustración 3.3.11. Compresor de pistones (conjunto). Vista lateral

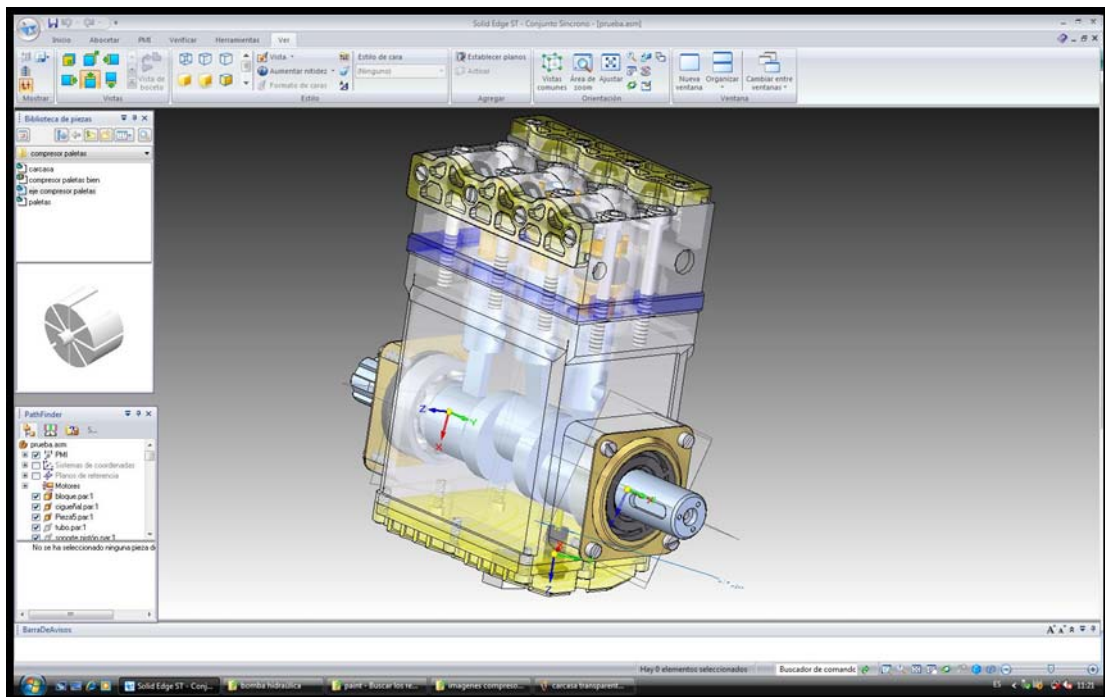


Ilustración 3.3.12. Compresor de pistones (conjunto). Vista isométrica

- **Compresor de pistones (conjunto fotorrealista)**

Podemos conseguir imágenes más realistas gracias al entorno ERA.

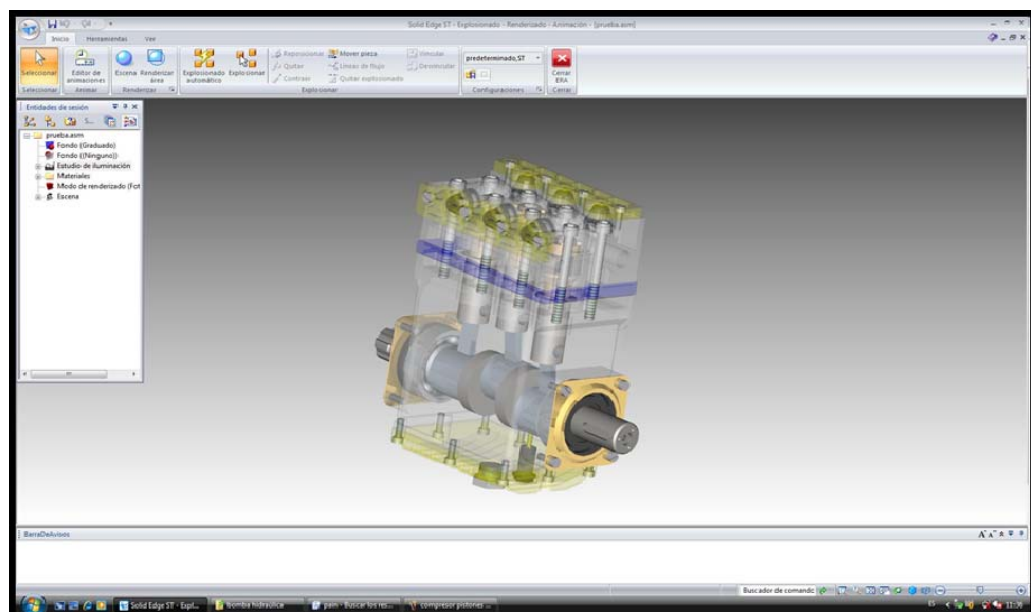


Ilustración 3.3.13. Compresor de pistones (conjunto). Vista isométrica fotorrealista

3.3.2. COMPRESOR DE PALETAS

➤ **Introducción**

El compresor de pistones consta sólo de tres tipos de piezas: la carcasa, el eje y las paletas. El diseño de las piezas y del conjunto es totalmente inventado ya que no disponíamos de ningún compresor real ni de planos.

➤ **Piezas**

- **Carcasa (estator)**

Asegura la estanqueidad del fluido. Además sirve como soporte del eje o rotor. Normalmente está construido de aluminio o hierro.

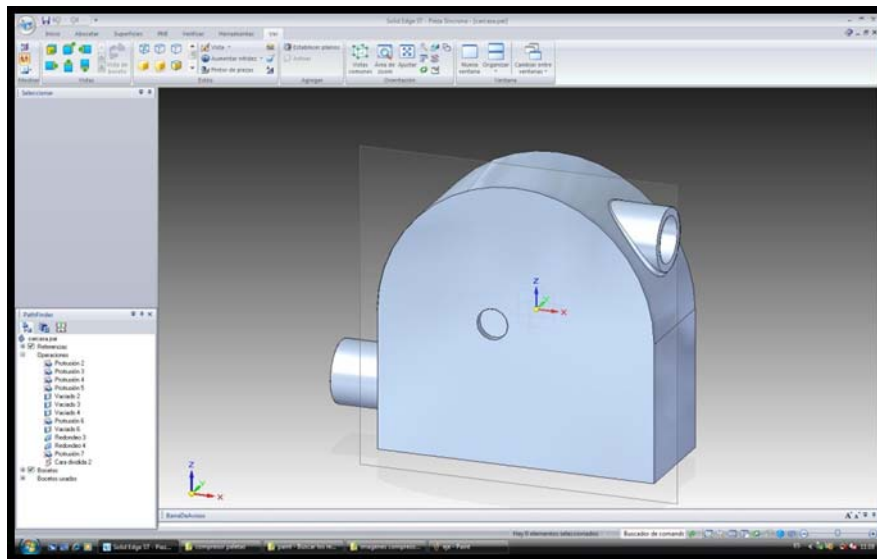


Ilustración 3.3.14. Carcasa (estator)

A continuación podemos observar la misma carcasa pero de forma transparente para poder observar cómo es por dentro.

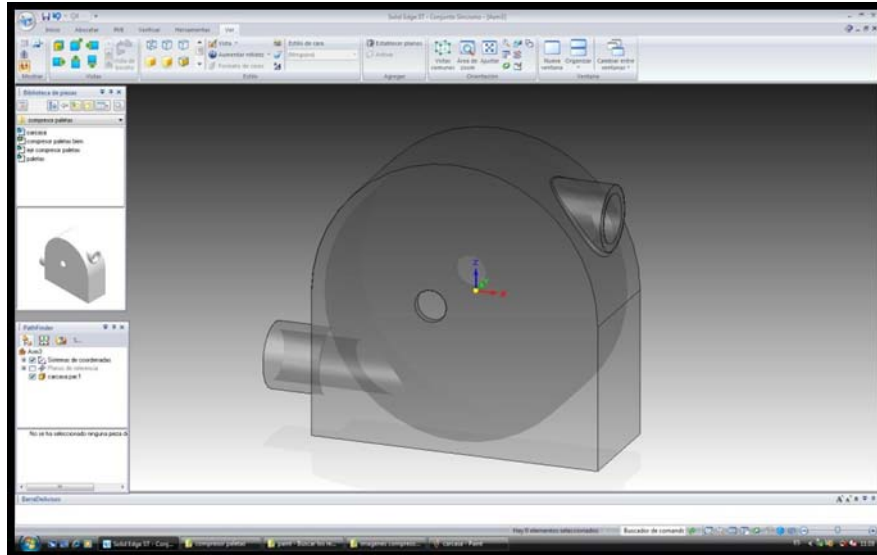


Ilustración 3.3.15. Carcasa transparente (estator)

- **Eje (rotor)**

Está sujeto a la carcasa pero se encuentra situado de forma excéntrica. Tiene unas ranuras donde están ubicadas las paletas, permitiendo que éstas se deslicen libremente.

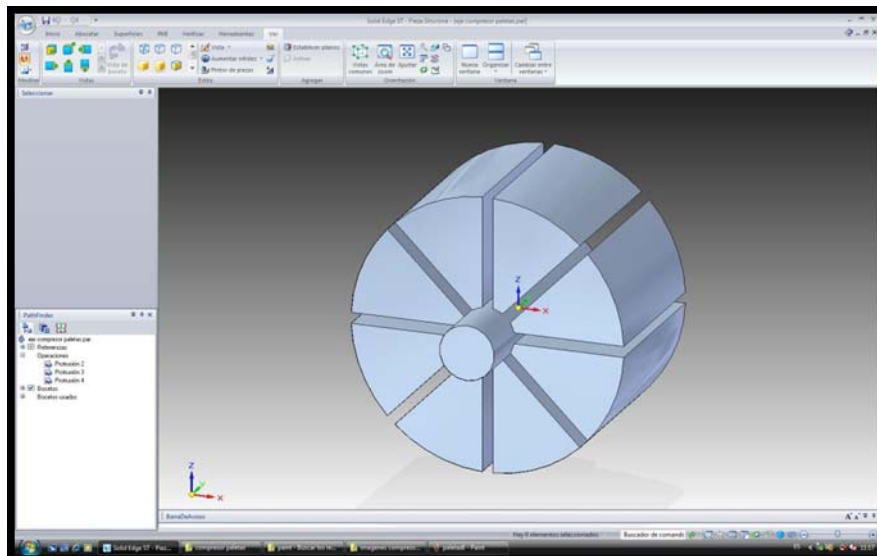


Ilustración 3.3.16. Eje (rotor)

- **Paletas**

Están situadas en las ranuras del eje. Al estar situado éste de forma excéntrica, y debido a la fuerza centrífuga, las paletas son empujadas hacia fuera por lo que siempre van pegadas a la pared de la carcasa.

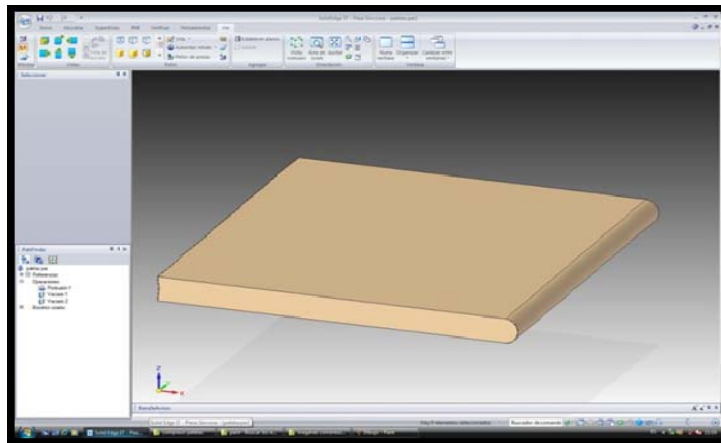


Ilustración 3.3.17. Paletas

- **Compresor de paletas (conjunto vista lateral)**

Una vez construidas todas las piezas y los subconjuntos, ensamblamos todo con el entorno conjunto síncrono. Primero introducimos la carcasa, que permanecerá anclada. A continuación introducimos el eje que lo ensamblamos a la carcasa con los comandos *alineación axial* y *hacer coincidir caras*. Por último introducimos las 8 paletas que las ensamblamos, con el eje con los comandos *alineación axial* y *hacer coincidir caras*, y con la carcasa con el comando *biela*.

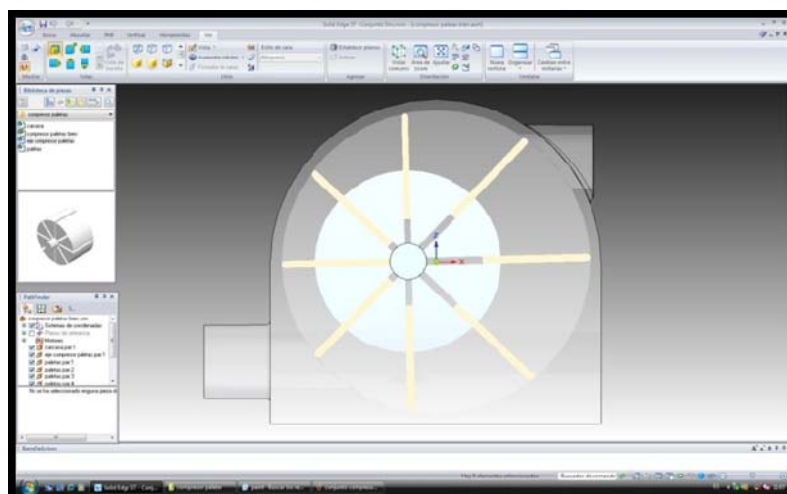


Ilustración 3.3.18. Compresor de paletas (conjunto). Vista lateral

- **Compresor de paletas (conjunto vista isométrica)**

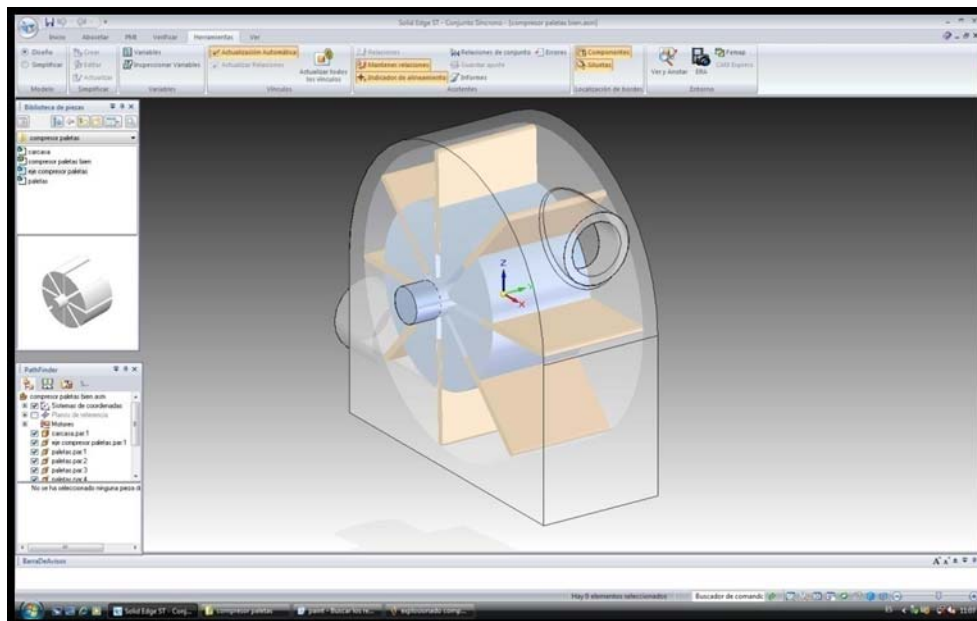


Ilustración 3.3.19. Compresor de paletas (conjunto). Vista isométrica

- **Compresor de paletas (explosionado)**

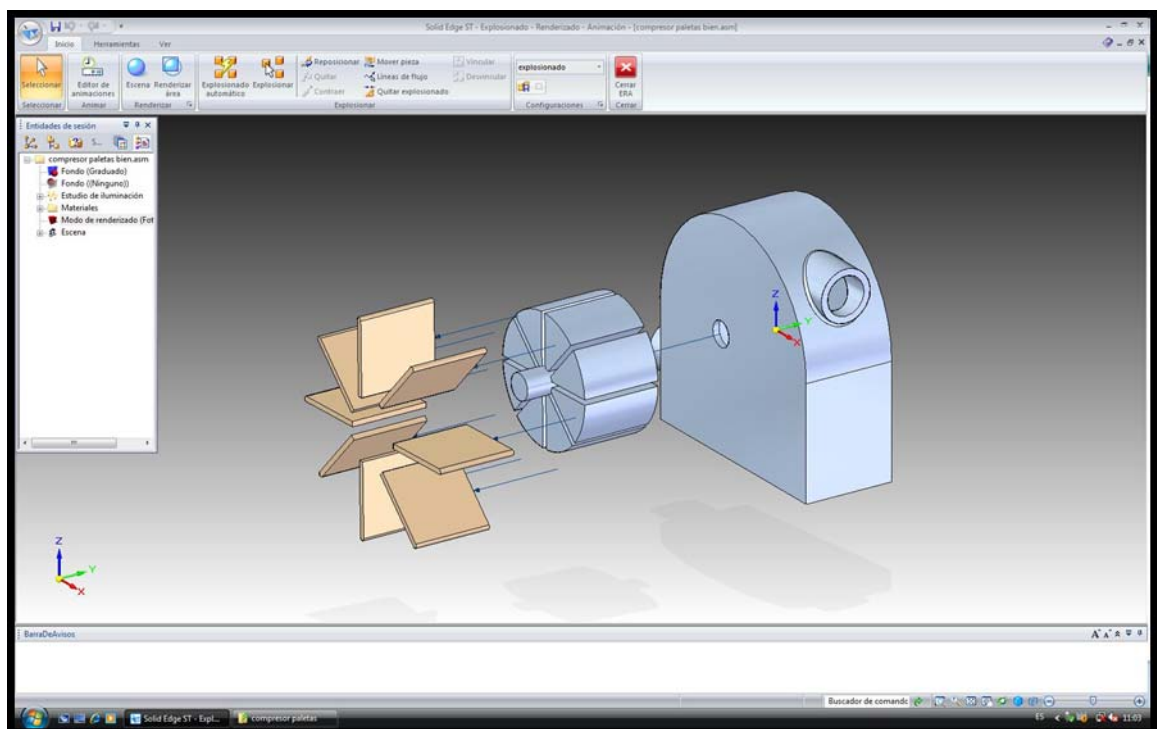


Ilustración 3.3.20. Explosionado

3.4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CON FEMAP

➤ INTRODUCCIÓN

Una vez realizado el modelado de los compresores por medio del *Solid Edge* pasamos a realizar las respectivas simulaciones con el *Femap*.

Femap es un software de elementos finitos que se usa para predecir el comportamiento de un sistema mecánico genérico ante una determinada acción de los parámetros mecánicos habituales: fuerzas, pares, campos de temperatura, etc. Este tipo de análisis es usado en el ciclo de diseño de un producto para predecir el rango de trabajo en el que el producto deberá funcionar. Permite tener un conocimiento del producto muy profundo antes de que exista físicamente.

El método consiste en dividir el sistema en subconjuntos denominados elementos. Así se consigue pasar de un sistema continuo a un sistema discreto. Un elemento está formado por una serie de puntos, denominados nodos, y las aristas que los unen.

Para saber lo que ocurre en el sistema continuo es necesario resolver a menudo complejas ecuaciones diferenciales. En el sistema discreto basta con calcular el comportamiento de los nodos y después utilizando funciones de forma se interpolan los resultados a todo el sistema.

El primer paso a seguir para resolver un problema mediante el método de los elementos finitos es crear una malla computacional. Es decir, la cantidad de nodos de los que va a disponer la malla o el tamaño de los elementos.

En nuestro caso, el programa utilizado es FEMAP, un potente e innovador programa creado por Siemens para la simulación y resolución de problemas en elementos finitos. Al abrir FEMAP nos encontramos en una pantalla de inicio con todas las ventanas y comandos disponibles en este programa.

➤ PROCESO DE SIMULACIÓN FEM

- *Modelado*

Consiste en la realización de un dibujo del sistema a estudiar mediante un programa de *CAD* (*Computer aided desing*) en 2D o 3D, que posteriormente será importado al programa de elementos finitos correspondiente. Otra posibilidad, es el uso del editor de geometría que poseen la mayoría del los paquetes de software que realizan análisis por *FEM* y dibujar directamente en este el modelo a ensayar. La ventaja que posee el uso de los primeros frente a los segundos, es que tienen una mayor precisión a la hora de dibujar la geometría, por lo que se pueden modelar sistemas con formas más complejas disminuyendo el tiempo empleado.

El primer paso a seguir consiste en importar la figura que hemos diseñado en SOLID EDGE a nuestro programa. Se realiza pulsando la pestaña *File* (Archivo) y dentro de ésta se pulsa *Import* (Importar) y a su vez *Geometry* (Geometría). Una vez pulsada esta última pestaña se te abre un cuadro donde podemos buscar cualquier pieza que deseemos en varios formatos.

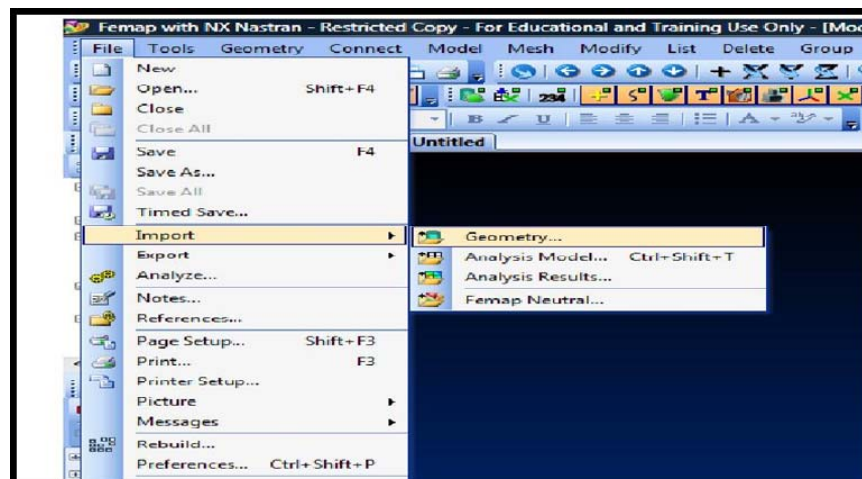


Ilustración 3.4.1. Importar geometría

Tenemos una importante ventaja y es que al ser Femap y *Solid Edge* programas compatibles no tenemos problemas a la hora de importar la pieza.

Automáticamente después de realizar la selección de la pieza a importar, aparece una ventana que pregunta si queremos ajustar el factor de escala.

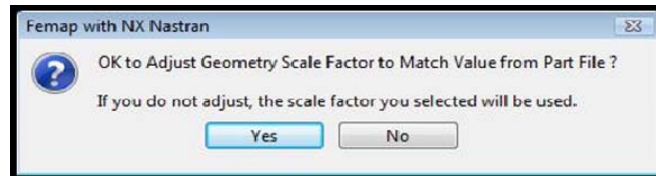


Ilustración 3.4.2. Ajustar escala

Pincharemos en *No* y seguidamente pulsando *File* (archivo) y dentro de ésta *Preferences* (preferencias) nos aparecerá una ventana en la que seleccionaremos que la unidad de medida con la que trabajaremos será el metro. De este modo estaremos trabajando con las unidades del sistema internacional tanto para los datos que introduzcamos como para los resultados obtenidos.

- **Material**

Aunque tanto en *Solid Edge* como en *Femap* existen librerías con propiedades de algunos de los materiales más representativos, crearemos una tabla con las propiedades de los materiales que vayamos a utilizar introduciendo los valores que necesitemos para realizar el análisis.

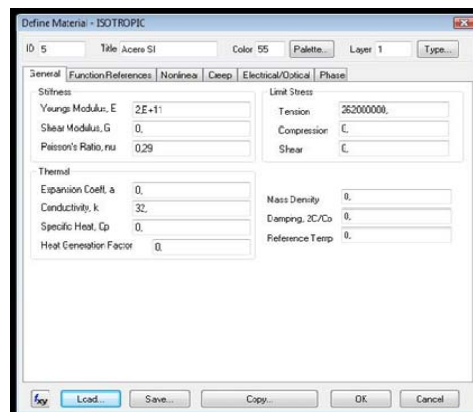


Ilustración 3.4.3. Definir materiales

Para ello tendremos que pulsar en *Model* y a continuación *Materials*. Introducimos los valores de *Modulo de Young*, *coeficiente de Poisson* y *tensión de rotura*. Una vez introducidos los valores nombramos al material en el campo *Title* y por último pulsamos en *Save* para guardar este nuevo material en la librería.

- **Propiedades**

A continuación definimos las propiedades de las piezas que forman el conjunto. Para ello pinchamos en *Model* y a continuación en *Property*.

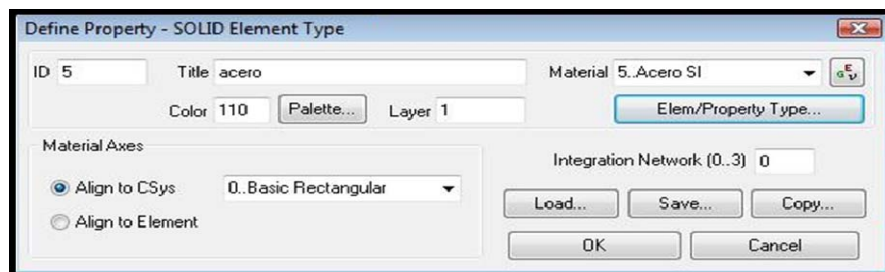


Ilustración 3.4.4. Definir propiedades

Pinchando en *Elem/Property Type* seleccionamos el material creado y rellenamos el campo *Title* con el nombre que le queramos dar a la propiedad.

- **Mallado**

Mediante el mallado se discretiza la geometría del conjunto inicial, dividiendo la totalidad de este en pequeñas celdas. Normalmente, los programas de elementos finitos tienen un módulo interno que permite la posibilidad de mallar de forma automática y que posibilita refinar aquellas zonas donde se necesite más precisión de cálculo.

Para cada pieza podemos realizar un tipo de mallado y con unas propiedades determinadas. Para ello utilizamos la ventana *Model Info* que aparece en la parte superior izquierda. A continuación pinchamos en *Geometry* y nos apare-

ce un desplegable con todas las piezas que forman el conjunto. Vamos a mallar las piezas por separado ya que de este modo podemos darle distintas propiedades a cada una.

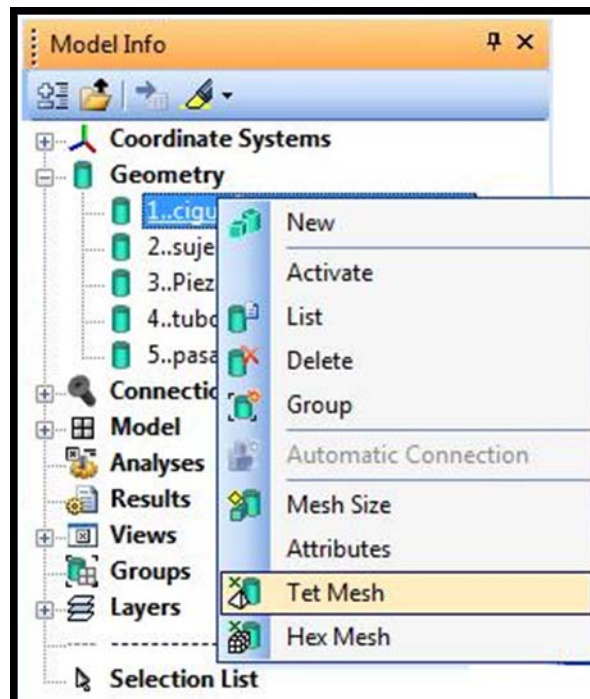


Ilustración 3.4.5. Mallado tetraédrico

Pulsando el botón derecho del ratón aparece una nueva ventana en la que pincharemos en *Tet Mesh*. Seguidamente nos aparecerá una nueva ventana.

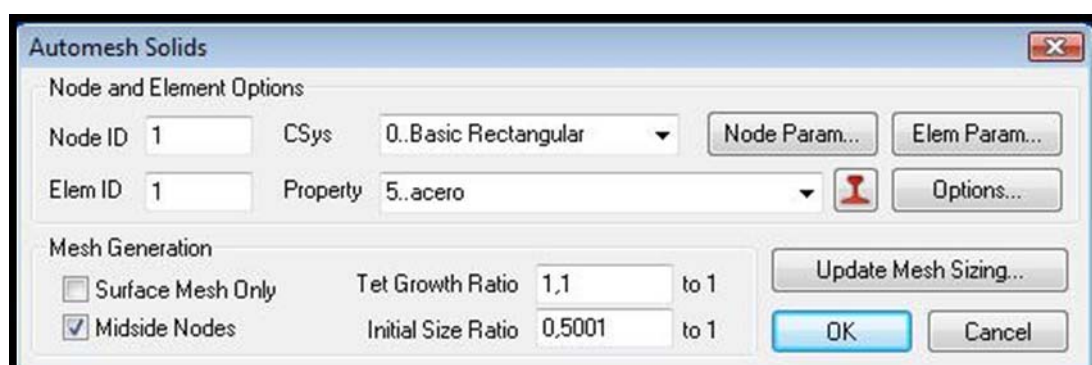


Ilustración 3.4.6. Opciones de mallado

Elegimos la propiedad que queremos para cada una de las piezas en el campo *Property*.

Una vez que hayamos mallado todas las piezas por separado el conjunto queda de la siguiente manera.

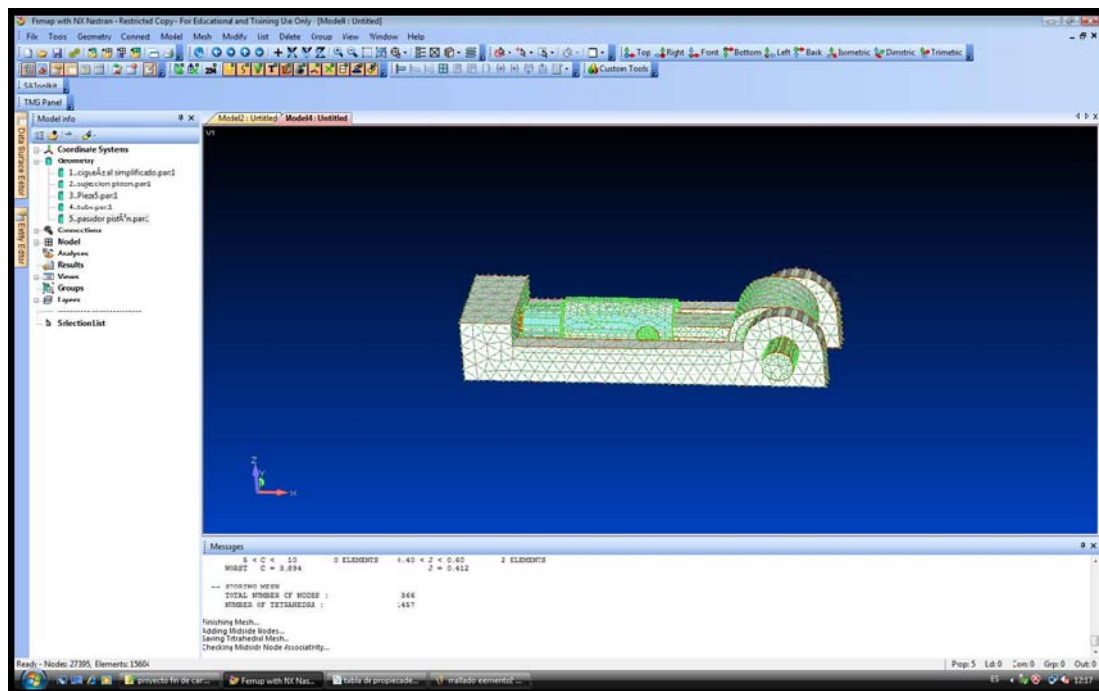


Ilustración 3.4.7. Pieza mallada

- ***Definición de contactos entre superficies***

En este paso se especifica el tipo de contacto que existe entre superficies colindantes en el modelo, estas pueden encontrarse pegadas, soldadas, tener rozamiento entre ellas, entre otras posibilidades. Existe tanto la opción de detallar el contacto por defecto entre la totalidad de superficies unidas que componen el modelo y la opción de generar los contactos uno a uno creando parejas de superficies. Ambas posibilidades se pueden combinar para los casos en los que la mayoría de las superficies tengan el mismo tipo de unión y unas caras determinadas no.

En primer lugar nos introducimos en la pestaña de *Connect* (Conexiones) y seleccionamos *Automatic* (Automático).



Ilustración 3.4.8. Tipo de conexión automática

Una vez dentro nos volvemos a encontrar con la ventana *Entity Selection* (Entrada de Selección) pulsamos el botón de *Select All* (Seleccionar Todo) para que nos coja todas las piezas que forman nuestro conjunto. Finalmente en la última ventana en *Auto Detection Options for Connections* (Opciones de Autodetección de Conexiones) dejamos los valores estándares de tolerancia, con especial atención a que aparezca marcada la pestaña *Glued*.

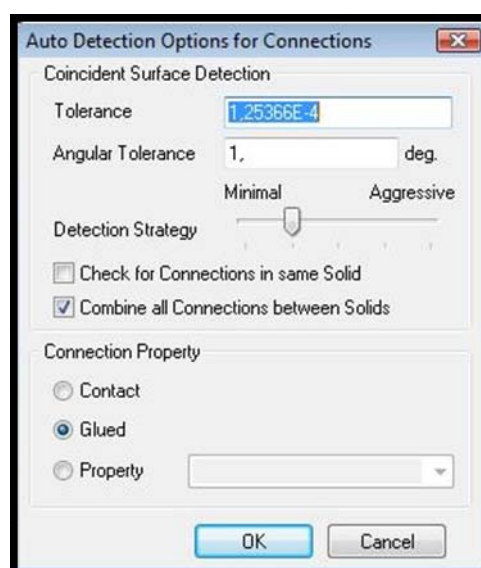


Ilustración 3.4.9. Opciones de conexión

En este punto aparece el primer problema y es que el tipo de contacto que deberíamos utilizar es *contact*, para que exista rozamiento entre las piezas que forman el conjunto. Si elegimos esta opción se nos plantean problemas que no somos capaces de solucionar, por lo tanto elegimos la opción *glued*, aunque esta opción provoca que las piezas estén pegadas entre sí y no exista movimiento relativo entre ellas por lo que los resultados que obtendremos no serán correctos.

- *Aplicación de las condiciones de contorno*

Las condiciones de contorno son restricciones que se aplican en algunos nodos mediante las cuales se restringen el número de grados de libertad, existe la posibilidad de limitar el desplazamiento en una o varias direcciones del espacio concretas o la rotación en las mismas.

En nuestro caso consideramos que la superficie de abajo es la que tiene restringido el movimiento. Para aplicar estas condiciones escogemos dentro de la barra de herramientas *Model* (Modelo) y a su vez *Constraint* (Restricciones) y *Surface* (Superficie).

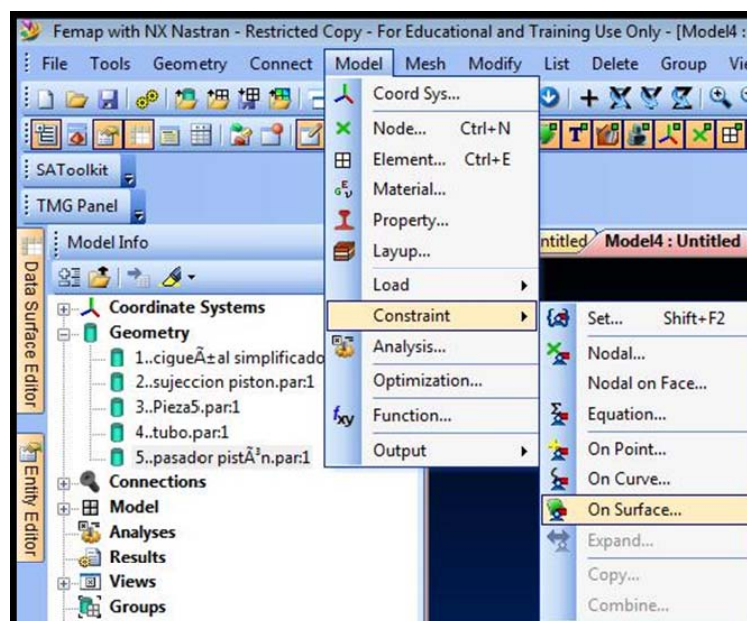


Ilustración 3.4.10. Restricciones en la superficie

A continuación elegimos qué tipo de restricción le queremos dar a la superficie escogida. Nosotros marcamos *Fixed* (Fijo).

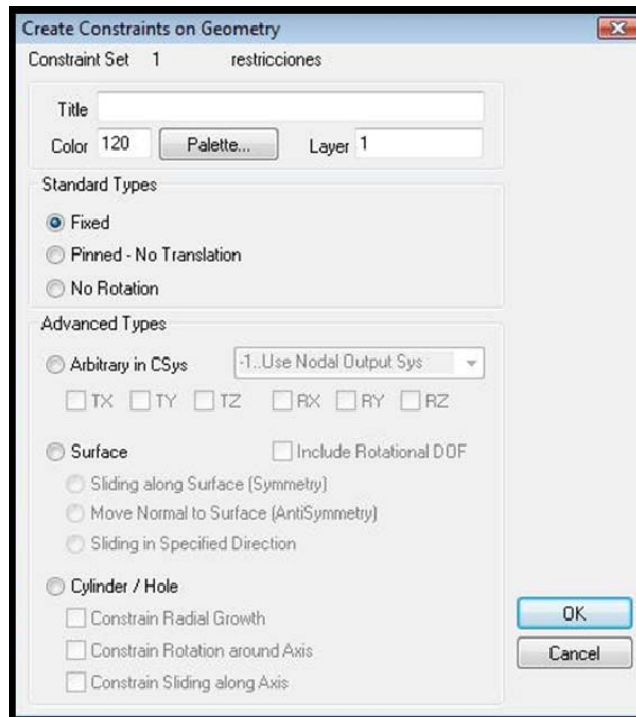


Ilustración 3.4.11. Opciones de restricción

Por último vemos como aparece marcado el tipo de restricción en la superficie elegida.

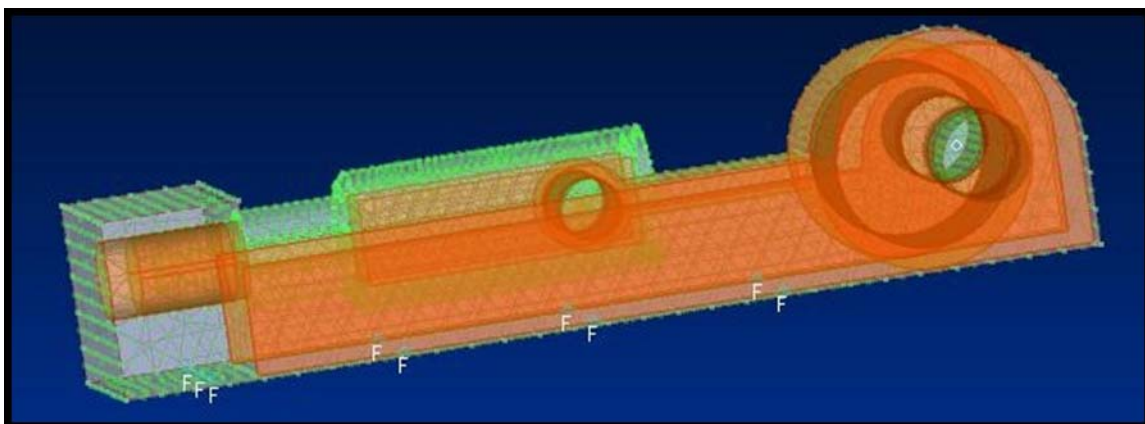


Ilustración 3.4.12. Pieza con restricciones

- *Aplicación de las cargas*

Las cargas aplicadas al modelo pueden ser fuerzas, momentos, presiones... y pueden estar aplicadas en nodos, superficies, etc. Para aplicar una carga en una superficie pinchamos en *Model* (Modelo), a continuación en *Load* (Carga) y por último *On Surface* (sobre una Superficie).

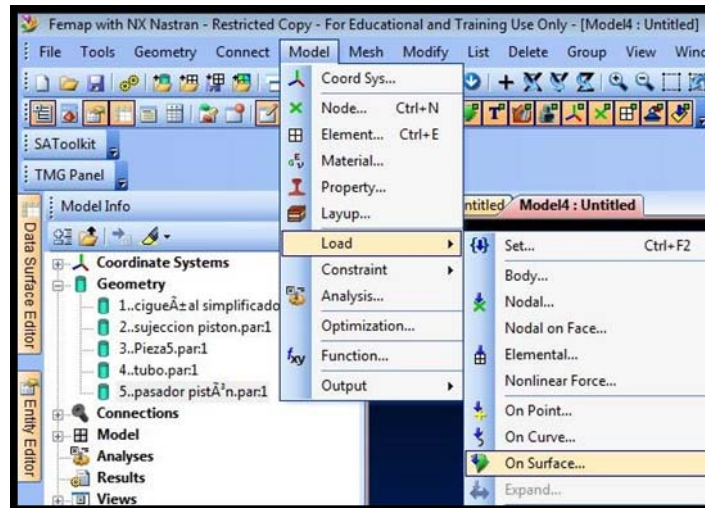


Ilustración 3.4.13. Cargas en superficie

Elegimos la superficie que queremos que esté sometida a cargas (en nuestro caso la parte superior del pistón) y nos aparecerá una nueva ventana en la que podemos elegir el tipo de carga y el valor que queremos asignarle.

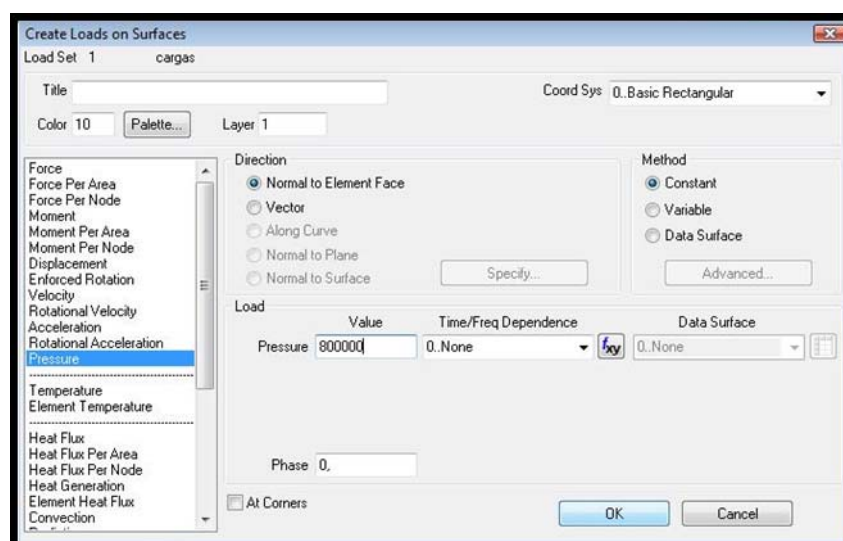


Ilustración 3.4.14. Opciones de carga

En nuestro caso elegimos *Pressure* (presión) con dirección normal a la superficie escogida y con un valor de 8 bares (recordamos que al estar trabajando en todo momento con unidades del sistema internacional en el campo destinado a introducir el valor de la presión ponemos 800000 Pa).

Por último podemos ver en el modelo las cargas aplicadas con la dirección, sentido y valor elegido.

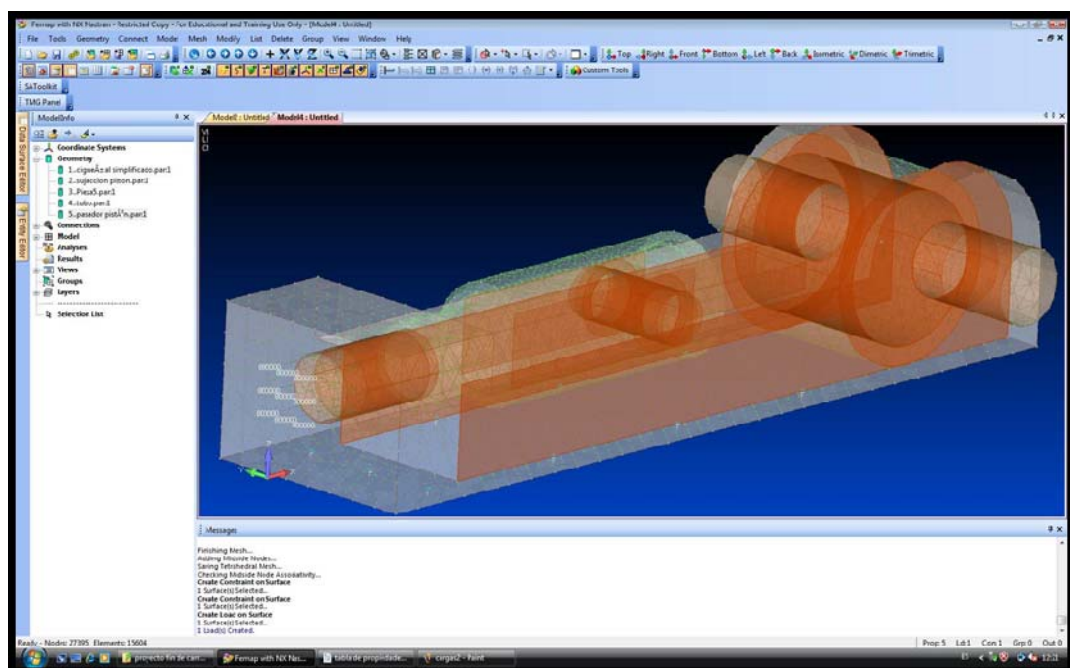


Ilustración 3.4.15. Pieza con cargas

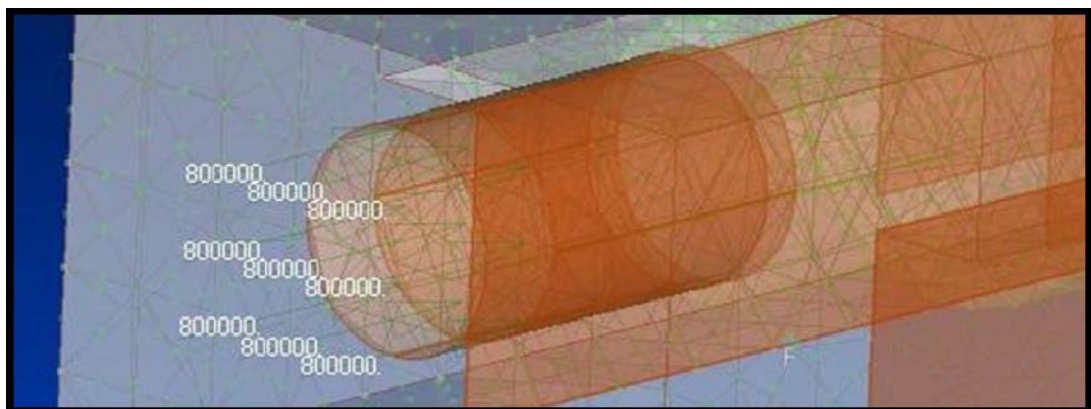


Ilustración 3.4.16. Pieza con cargas ampliada

- *Elección del tipo de análisis a realizar*

Tras la preparación del modelo, objeto de estudio, se ha de indicar al programa qué tipo de análisis se requiere realizar; este puede ser estructural, de transferencia de calor, electrostático, de transporte de masa,...dentro de estas categorías se ha de concretar las características del mismo.

En nuestro caso hemos escogido el análisis de modos de vibración. Dentro de la pestaña de *Model* (Modelo) escogemos *Analysis* (Análisis) para analizar nuestro problema. El programa matemático que soluciona los problemas de elementos finitos es el NX NASTRAN, que nos permite obtener las soluciones correspondientes a cada problema planteado.

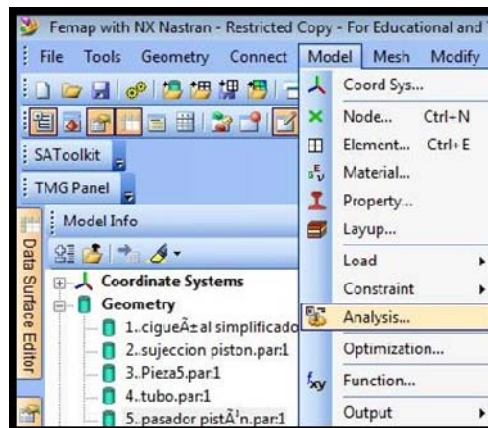


Ilustración 3.4.17. Análisis

En FEMAP existen muchos tipos de análisis (estático, dinámico, transferencia de calor). Nosotros deberíamos elegir uno dinámico pero, debido a los problemas en el apartado de los contactos comentado anteriormente, escogemos el análisis estático.

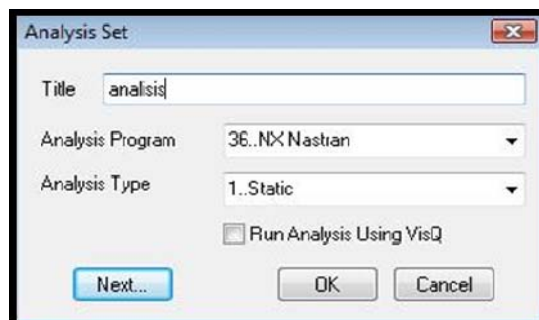


Ilustración 3.4.18. Elección del tipo de análisis

Una vez que pinchemos en *Analyze* (Analizar) el programa tardará unos minutos hasta que tenga disponibles los resultados. En ese momento se activará la pestaña *Load Results* (Cargar resultados).

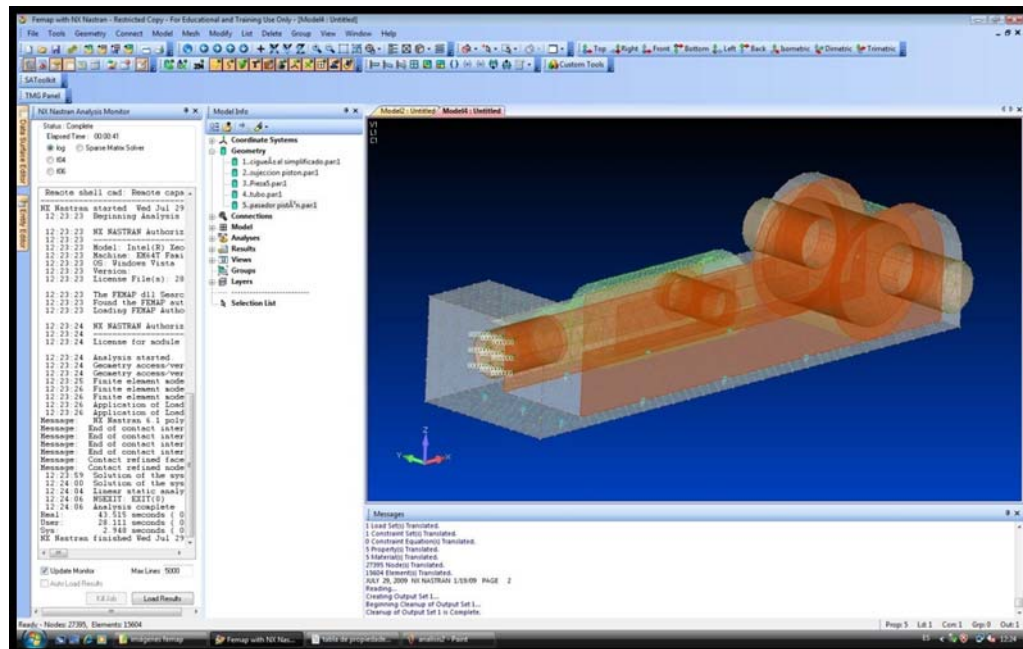



Ilustración 3.4.19. Fin del análisis. Cargar resultados

- **Obtención de resultados**

Una vez realizado el análisis, si pinchamos en la pestaña *View Select*  nos aparece una ventana con las distintas opciones que tenemos para visualizar los resultados.

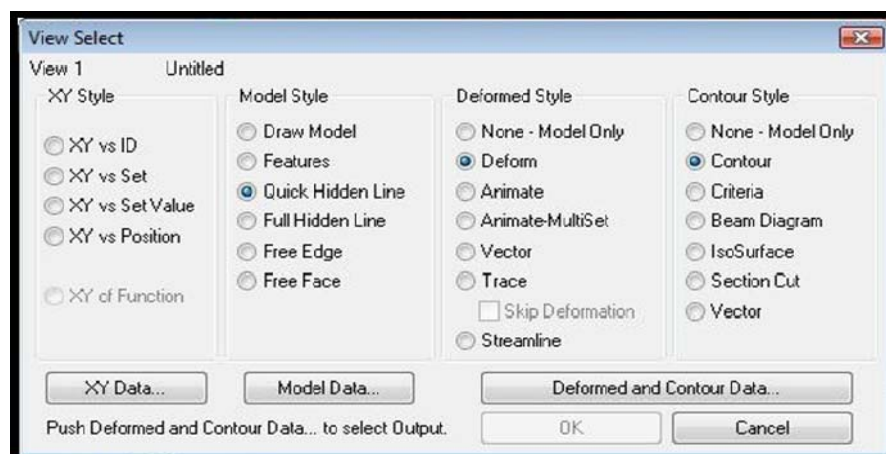


Ilustración 3.4.20. Opciones para visualizar resultados

Si pinchamos en la pestaña *Deformed and Contour Data*, nos aparece otra ventana en la que podemos ver los resultados de forma numérica. En esta ventana podemos elegir ver varios resultados: *Total Translation*, *Total Rotation*, *Solid Von Mises Stress*... así como los valores máximos y mínimos en los nodos.

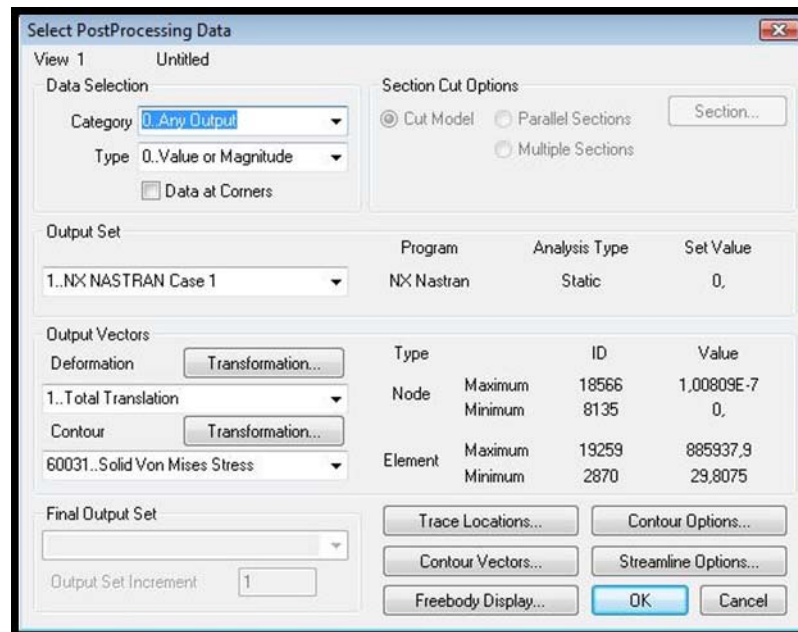


Ilustración 3.4.21. Opciones de visualización de resultados numéricos

Por último, podemos ver la deformada de la pieza con una escala de colores en función del parámetro que hayamos elegido: deformación, tensión...

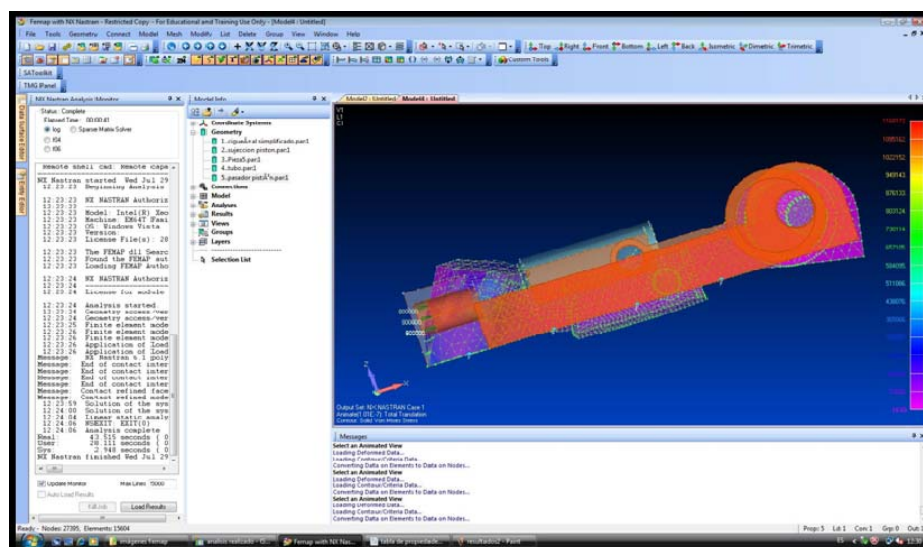


Ilustración 3.4.22. Deformada de la pieza

Esta deformada no es real, sino que está magnificada para que se pueda visualizar mejor. De igual modo, podemos ver la deformada real.

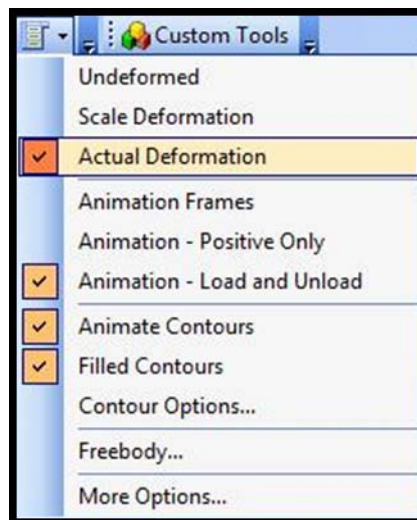


Ilustración 3.4.23. Elección de deformada real

Siendo el resultado el siguiente:

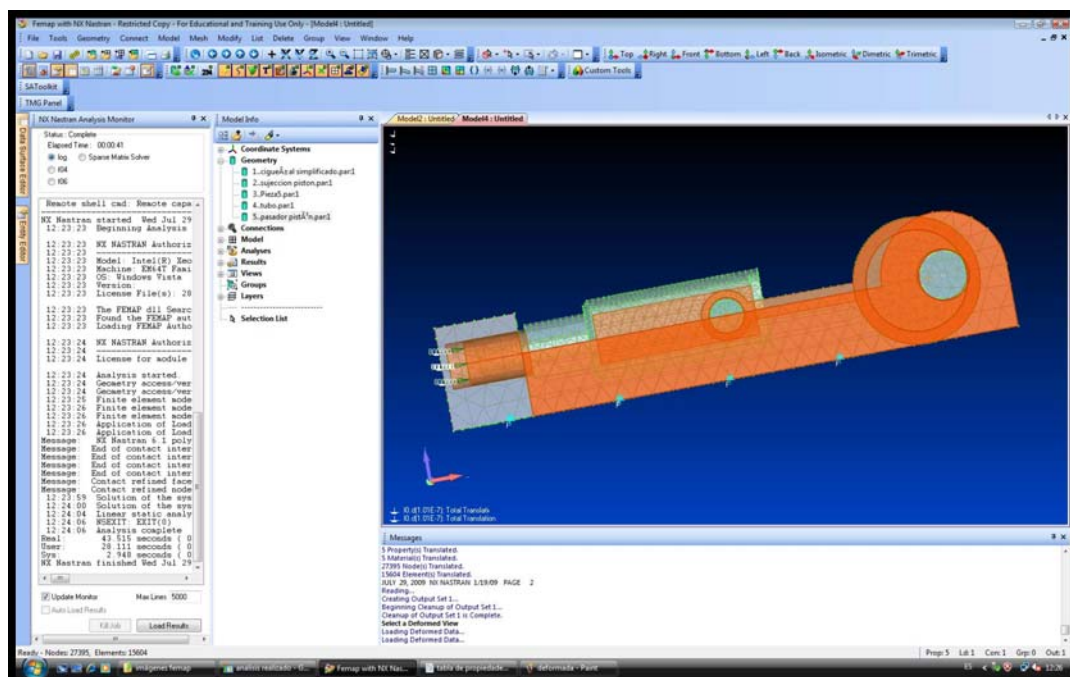


Ilustración 3.4.24. Deformada real



Vemos como en la deformada real casi no se aprecian cambios comparándola con la pieza en reposo, ya que las presiones a la que está sometida la pieza son muy pequeñas para producir una deformación. De todos modos, estos resultados no son validos, porque como ya explicamos con anterioridad, el tipo de contacto debería ser *con rozamiento* y no *pegado*.

4. CONCLUSIONES

En el presente proyecto fin de carrera se han desarrollado unos modelos de compresores con el fin de servir de apoyo a la docencia y aprendizaje de la teoría de compresores neumáticos.

Para conseguir el objetivo fundamental, se ha realizado el modelado y simulación de un compresor de paletas y un compresor de pistones, utilizando el software de modelado *Solid Edge Synchronous Technology*. El modelo ha sido realizado a partir de compresores reales (en el caso del compresor de pistones). Por otra parte, se ha intentado realizar un análisis dinámico de los modelos con el programa *Femap*. Esta parte ha quedado incompleta por motivos que detallaremos a continuación.

La principal conclusión del proyecto es que se puede demostrar que este tipo de software puede ser extremadamente útil en el campo de la enseñanza debido a las infinitas posibilidades que poseen. Se pueden modelar todo tipo de piezas con su geometría real, así como dotar al conjunto del mismo movimiento que efectúan los mecanismos en la realidad, teniendo la ventaja de que, por ejemplo, en el software podemos hacer que la carcasa sea transparente y observar cómo funciona el interior de dichos mecanismos, cosa que no es posible hacer en la realidad.

Otra conclusión importante es que con este tipo de programas podemos someter nuestros modelos a tensiones extremas, comprobar qué tipo de material es el más adecuado, estudiar cual es el modelo con el que obtenemos mayor rendimiento... y todo ello sin la necesidad de tener que realizar prototipos y ensayos reales con la pérdida de tiempo y dinero que ello conlleva.

En el anexo se detallan las incidencias encontradas durante la realización de este proyecto.

5. FUTUROS DESARROLLOS

Una forma de dar continuidad a este proyecto es desarrollar más a fondo el conocimiento sobre el programa de simulación *Femap V10 0.2* ya que se trata de un programa totalmente novedoso y no disponemos hasta el momento de ninguna referencia que nos sirva de ayuda.

El programa dispone de un paquete de fluidos que sería interesante desarrollar ya que si fuéramos capaces de simular el funcionamiento con los fluidos los resultados serían más reales.

El otro punto importante en el que se debería trabajar, y que a nosotros no nos ha permitido obtener resultados, es el tipo de contacto entre las piezas. Al conectar las piezas existen varias opciones siendo la ideal en nuestro caso la opción de rozamiento entre las piezas. Debido a que solo existe un tutorial, cuyo modelo no se asemeja lo más mínimo al nuestro, para este tipo de contacto nos ha sido imposible realizar los ensayos con rozamiento ya que los errores cometidos durante el proceso no nos permitían obtener resultados. En consecuencia, realizamos las simulaciones con el contacto pegado no obteniendo, de este modo, los resultados esperados aunque pensamos que el proceso llevado a cabo en el análisis es el correcto exceptuando, evidentemente, el contacto entre las piezas.

Por último se podrían intentar simular los modelos con otro software de análisis dinámico (como ALGOR), aunque sería muy posible que nos encontraríamos con graves problemas a la hora de importar las piezas desde Solid Edge, debido a que los programas no fueran compatibles.

6. BIBLIOGRAFIA

- http://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca_ele/diccio_ele/diccionario/ensenanzadistancia.htm
- <http://sebastianharo.netfirms.com/articulos/ense%F1anza-multimedia-gana-adeptos.htm>
- <http://www.eees.es/es/eees>
- <http://www.formacione-learning.es/>
- <http://www.iberisa.com/nxnastran/femap.html>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_\(m%C3%A1quina\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_(m%C3%A1quina))
- <http://www.proyectosfindecarrera.com/tipos-compresores.htm>
- <http://sitioniche.nichese.com/tipos.html>
- BALMASEDA URIARTE, D. *Manual Práctico SOLID EDGE ...with Synchronous Technology*. Servicios Informáticos Dat, S.L. 2008
- Manual FEMAP V.10.0.1
- Apuntes de la asignatura Teoría de Mecanismos.
- Apuntes de la asignatura Elementos de Máquinas.

7. ANEXOS

7.1. INCIDENCIAS

- **Unidades.** Durante el proceso de importación de *Solid Edge* a *Femap* por defecto el programa nos traslada las piezas en metros, mientras que en *Solid Edge* se hacen en milímetros. La solución es la siguiente: automáticamente después de realizar la selección de la pieza a importar, aparece una ventana que pregunta si queremos ajustar el factor de escala. Pincharemos en *No* y seguidamente pulsando *File* (archivo) y dentro de ésta *Preferences* (preferencias) nos aparecerá una ventana en la que seleccionaremos que la unidad de medida con la que trabajaremos será el metro. De este modo estaremos trabajando con las unidades del sistema internacional tanto para los datos que introduzcamos como para los resultados obtenidos.
- **Recorrido de las paletas en el compresor centrífugo.** En el compresor de paletas, éstas se desplazan debido a la fuerza centrífuga y que el eje se encuentra excéntrico a la carcasa. Para conseguir el movimiento utilizamos el comando *Biela* a la hora de ensamblar el conjunto.
- **Movimiento del compresor alternativo.** Al ensamblar los pistones con el cigüeñal y el bloque no éramos capaces de dotar de movimiento el conjunto. Para ello realizamos una simplificación de la biela que no altera la realidad del movimiento.
- **Tipo de contacto.** El modelo que queríamos simular requería un tipo de contacto con rozamiento que no fuimos capaces de desarrollar. El tipo de contacto que usamos fue pegado lo que provoca que los resultados no sean los deseados.
- **Mallado del compresor de pistones.** El compresor de pistones consta de muchas piezas por lo que hay problemas a la hora de mallar el conjunto debido a la existencia de puntos angulosos. Para solucionar el problema se modeló una simplificación del compresor de pistones.



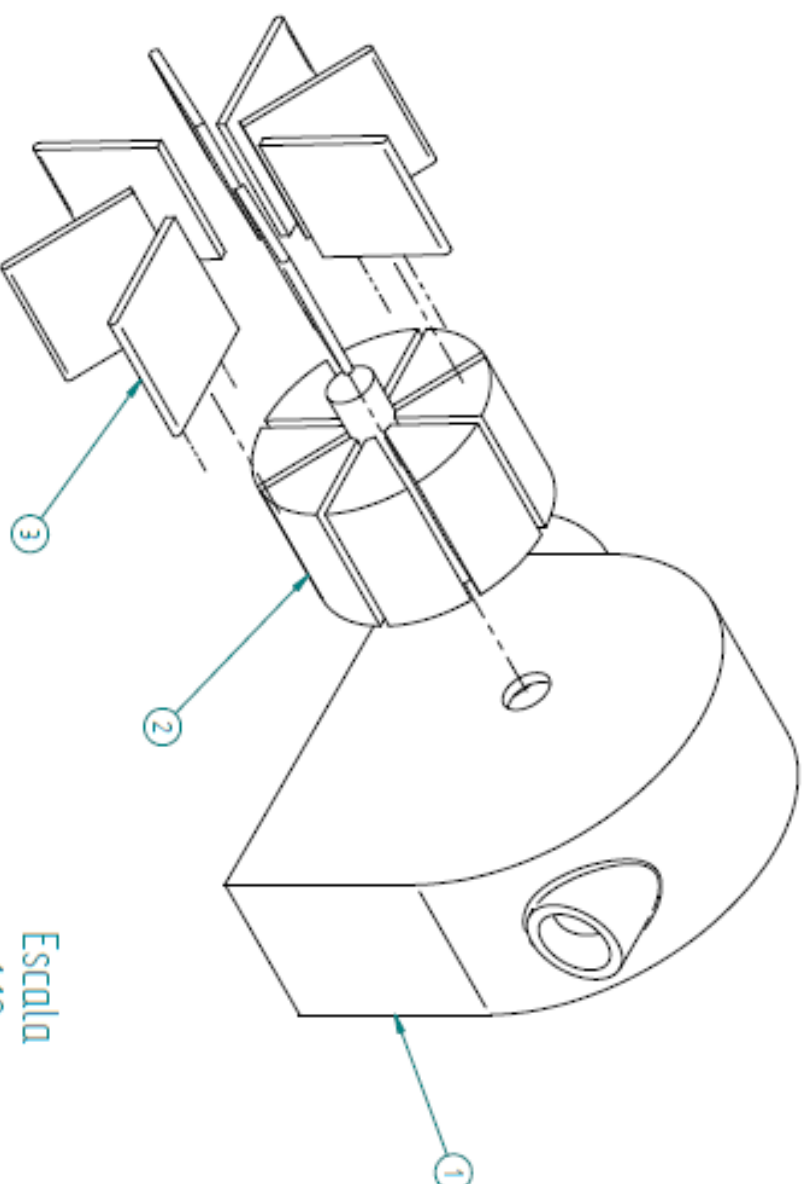
7.2. PLANOS

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Tabla de piezas

Número de elemento	Título	Material	Cantidad
1	Carcasa	Acero	1
2	Eje (rotor)	Acero	1
3	Paletas	Caucho	8



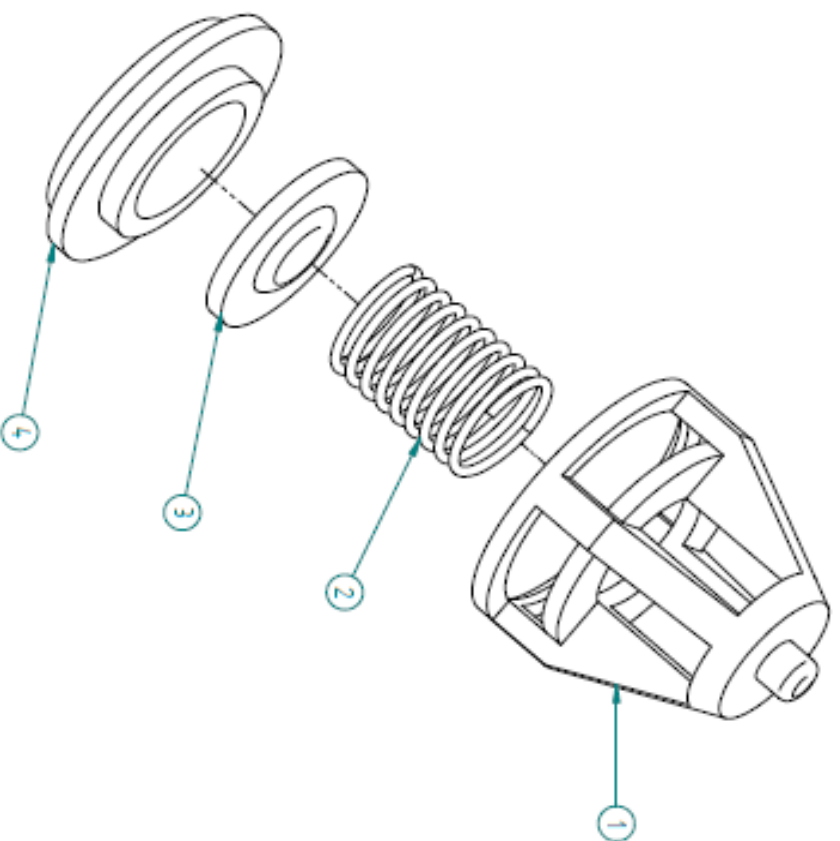
Escala
1:10

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado	ST	3/09/09	Título		
Comprobado					
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A3	Plano	Re
Archivo: compresor paletas bien.leaplonado.stf			Escala	Peso	Hoja 1 de 1

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Lista de piezas			
Elemento	Título	Material	Nº unidades
1	Tapa válvula	PVC	1
2	Muelle	Aluminio	1
3	Tapón	Aluminio	1
4	Soporte	Acero	1



	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Dibujado	ST	3/09/09		
Comprobado				
Aprobado 1				
Aprobado 2			Título	
Solvo indicación contrario cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°			A3	Plano
			Archivo: válvula.txdimensionado.sth	
			Escola	Peso
			Hoja 1 de 1	

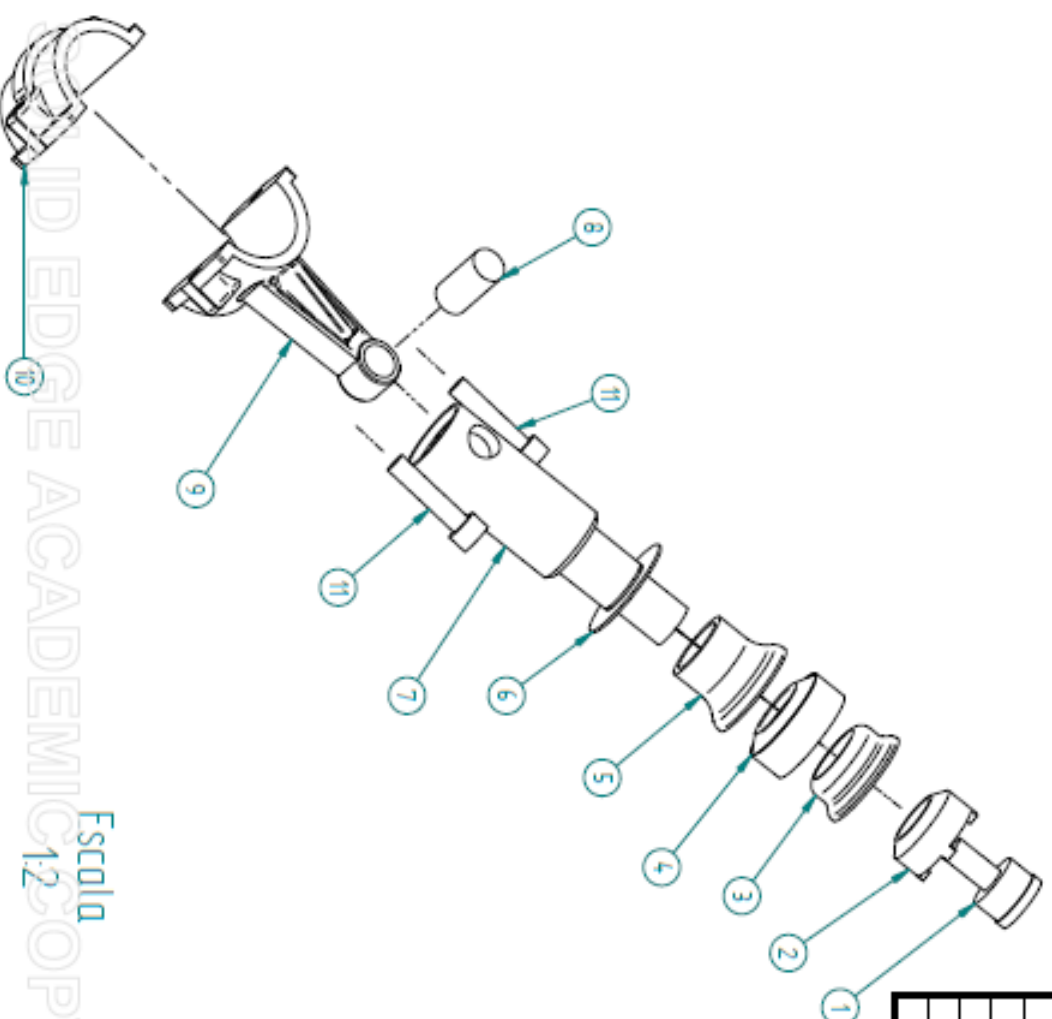
SOLID EDGE ACADEMIC COPY Escala 2:1

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Lista de piezas

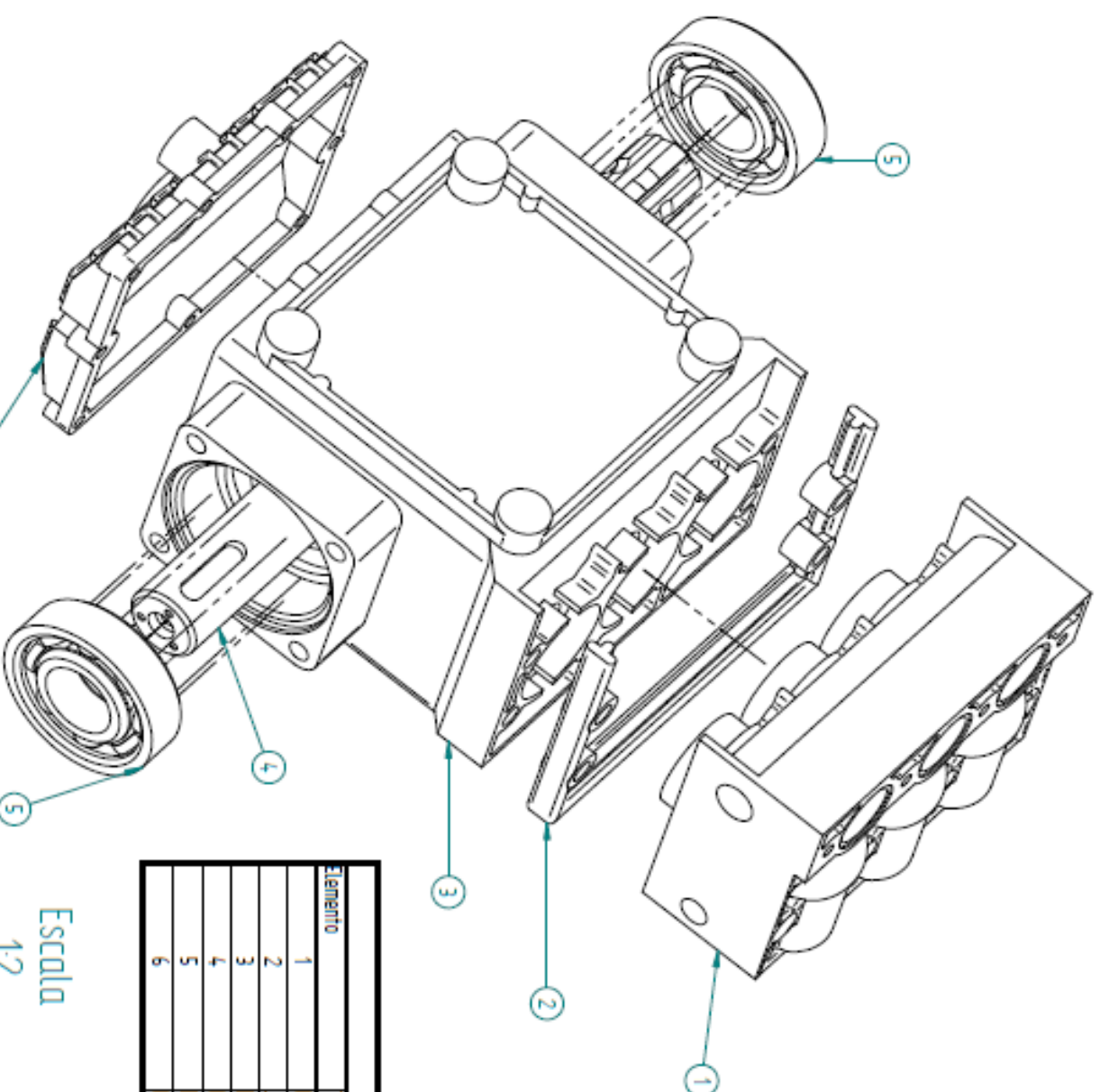
Elemento	Título	Material	Nº unidades
1	Formillo pistón	Acero	1
2	Forro pistón	Aluminio	1
3	Goma pistón	Caucho	1
4	Goma hermética pistón	Caucho	1
5	Soporte pistón	Acero	1
6	Arandela	Aluminio	1
7	Tubo	Acero	1
8	Pulsador pistón	Acero	1
9	Tuerca biela superior	Acero	1
10	Tuerca biela inferior	Acero	1
11	Formillo	Acero	2



Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Dibujado	ST		
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2		Título	

Solvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°		A3 Plano		Rev
Archivo	piston leplazondoloff	Escala	Peso	Hoja 1 de 1

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Lista de piezas			
Elemento	Título	Materia	Nº unidades
1	Culata	Acero	1
2	Junta de culata	Acero	1
3	Bloque	Acero	1
4	Cigüeñal	Acero	1
5	Rodamiento	Acero	2
6	Correa	Acero	1

Escala
1:2

Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Dibujado	ST		
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2		Título	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Piano
Archivos: conjunto bloque para explosión: dxf		Escola	Peso
			Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY